

BETONOBERFLÄCHENSCHUTZ DURCH ELASTISCHE SCHLÄMMEN

Bericht
erstattet von

Dr.-Ing. K. Hinrichsmeyer
Dipl.-Phys. K. Landwehrs
Prof. Dr.-Ing. F.S. Rostásy

Dezember 1988

gefördert durch den Minister für Landes- und Stadtentwicklung
des Landes Nordrhein-Westfalen Az.: VB 1 - 72.02 - Nr. 196/87

Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung
2. Stand der Erkenntnisse
3. Untersuchungsprogramm, Beschreibung der eingesetzten Verfahren
 - 3.1 Differentialthermoanalyse und Thermogravimetrie
 - 3.2 Diffusionsmessungen
 - 3.2.1 Wasserdampfdiffusion
 - 3.2.2 CO₂-Diffusion
 - 3.2.3 Berechnungsverfahren für die Diffusionsmessungen
 - 3.3 Kapillares Saugen
 - 3.4 Spannungs-Dehnungsmessungen
 - 3.5 Haftzugmessungen
 - 3.6 Differenzkalorimetrie
4. Meßergebnisse
 - 4.1 Identitätsprüfung, Feststoffgehalt der Dispersion
 - 4.2 Wasserdampfdurchlässigkeit
 - 4.3 CO₂-Durchlässigkeit
 - 4.4 Wasseraufnahme
 - 4.5 Zugfestigkeit, Reißdehnung
 - 4.6 Haftzugfestigkeit
 - 4.7 Glastemperatur
5. Folgerungen
6. Zusammenfassung und Ausblick
7. Literatur

1. Einleitung

Die weitaus überwiegende Zahl von Betonoberflächenschäden hat ihre Ursache in korrodierenden Bewehrungsstählen und den dadurch ausgelösten Betonabplatzungen. Damit Stähle im Beton überhaupt korrodieren können, müssen Sauerstoff und Wasser vorhanden sein - was in der Regel bei oberflächennahen Stählen möglich ist - und zusätzlich muß die ursprünglich vorhandene Alkalität des Betons auf Werte unter ca. pH 9 abgesenkt sein. Der Abbau der Alkalität erfolgt durch das Eindringen von CO_2 aus der Atmosphäre in den Beton (Karbonatisierung).

Für den Schutz und die Instandsetzung derartig gefährdeter oder geschädigter Betonoberflächen werden derzeit vorwiegend Schutzanstriche auf Kunstharzbasis mit Schichtdicken zwischen 100 und 500 μm , ggf. in Verbindung mit zementgebundenen, kunstharzmodifizierten Feinmörteln oder Spachteln von 2 - 5 mm Schichtdicke eingesetzt. Aufgabe der Schutzanstriche ist es, einen zusätzlichen oder nachträglichen Schutz gegen das Eindringen von Wasser in flüssiger Form, von Schadgasen wie CO_2 und ggf. SO_2 oder auch von Tausalzlösungen bei Aufrechterhaltung des Austrocknungsvermögens des Betons herzustellen.

In der Praxis bestehen meist zwei typische Anwendungsfälle für die Schutzanstriche:

Entweder ist der Korrosionsschutz des Stahls durch den hohen pH-Wert des Betons noch gewährleistet, infolge unzureichender Beton-Deckung oder mangelhafter Betonqualität ist aber mit baldigem Verlust des Korrosionsschutzes infolge Karbonatisierung zu rechnen. Vorbeugend wird dann ein Anstrich mit hohem CO_2 -Diffusionswiderstand aufgetragen [1]

oder

der oberflächennahe Stahl ist bereits korrodiert und hat den Beton

abgesprengt. Nach Reparatur der Schadstelle mit Mörtel ist es jetzt zusätzlich die Aufgabe des Schutzanstrichs, für ein Austrocknen der oberflächennahen Betonzone zu sorgen, um weitere Korrosion zu verhindern [2, 3].

Schutzanstriche müssen daher wasserdicht, wasserdampfdiffusionsdicht und diffusionsdicht gegenüber CO_2 und ggf. SO_2 sein. Die Anwendung heute üblicher Schutzanstriche in Verbindung mit Feinmörteln ist in der Praxis mit einigen Nachteilen verbunden. So ist die Applikation vor allem der Spachtelung sehr aufwendig, und die Anstriche erweisen sich wegen der geringen Schichtdicke als sehr anspruchsvoll hinsichtlich der Untergrundvorbehandlung und der Verarbeitung. Die Schutzwirkung wird allein durch den Anstrich erzeugt; der Spachtel dient zur Egalisierung der Betonoberfläche. Bei der Verarbeitung wird in aller Regel die Oberflächenstruktur des Betons überdeckt und unkenntlich gemacht.

In Neuerer Zeit finden sog. "elastische Dichtungsschlämmen", die die Aufgaben des Systems Schutzanstrich plus Feinspachtel weitgehend übernehmen können, zunehmend Eingang in die Praxis der Betonoberflächeninstandsetzung.

Elastische Dichtungsschlämmen sind aus den bekannten mineralischen Dichtungsschlämmen auf Zementbasis entwickelt worden, die mit Zusätzen mehr oder weniger bekannter Herkunft schon lange eingesetzt wurden, um Schwimmbäder, Kellerwände oder der gleichen mehr gegen nichtdrückendes Sickerwasser oder wenig drückendes Grundwasser abzudichten. Bei den neuartigen, flexiblen Dichtungsschlämmen handelt es sich um die Kombination aus einer zementhaltigen Trockenkomponente und einer Polymerdispersion [4]. Das Mischungsverhältnis beträgt in etwa 2 Gewichtsteile Trockenmasse (Zement, Emulgator, Stellmittel) und ein Gewichtsteil Flüssigkeit. Die Flüssigkomponente besteht aus Wasser und einem darin dispergiertem Polymer.

Die flexible Dichtungsschlämme wird auf Betonoberflächen i. d. R. in mehreren Lagen von jeweils ca. 1 mm Dicke aufgebracht. Sie bietet gegenüber dem System Schutzanstrich plus Feinspachtel die Vor-

teile einer schnellen und einfachen Verarbeitung (rollen, streichen, spritzen) und der Unempfindlichkeit gegen Applikationschwankungen und Abwitterung. Daneben können keine Verträglichkeitsprobleme bei der Verarbeitung auftreten, da der gesamte Aufbau mit nur einem Material vorgenommen wird. Die bestehende Betonoberflächenstruktur wird im Groben erhalten [5].

Von den elastischen Dichtungsschlämmen wird als besonderer Vorteil erwartet, daß sie rißüberbrückend wirken können, da durch den Kunststoffzusatz die spröd-elastischen Eigenschaften typischer mineralischer Werkstoffe in den Hintergrund treten und statt dessen mehr für Kunststoff typische Eigenschaften das mechanische Verhalten bestimmen.

Die Anzahl kommerziell angebotener elastischer Dichtungsschlämmen hat in den vergangenen Jahren stark zugenommen. Es war und ist jedoch aufgrund des mineralischen Charakters des Grundmaterials nicht ohne weiteres anzunehmen, daß diese eine vergleichbare Sperrwirkung gegen CO_2 aufweisen wie übliche Schutzanstriche auf Kunststoffbasis. Erfahrungsgemäß kann die Einsetzbarkeit dieser Materialien für eine dauerhafte Schutzwirkung aber dann zuverlässig beurteilt werden, wenn ihre Eignung in Laboruntersuchungen, die die Verhältnisse in der Praxis hinreichend realistisch simulieren, nachgewiesen ist.

2. Stand der Erkenntnisse

Elastische Dichtungsschlämmen sollen bei der Betonoberflächeninstandsetzung im wesentlichen die Aufgabe der Komponente Feinmörtel plus Schutzanstrich übernehmen. Letztere werden jedoch schon seit mehreren Jahren im Rahmen von Materialprüfungen auf eine Eignung für den Betonoberflächenschutz hin untersucht. Langjährige Beobachtungen der Praxis haben gezeigt, daß - bei sachgemäßer Verarbeitung - Materialien, die ihre Eignung derart nachgewiesen haben, auch einen dauerhaften Betonoberflächenschutz garantieren. Ausgehend davon muß auch von elastischen Schlämmen gefordert werden, daß sie in vergleichbaren Materialprüfprogrammen bestehen können.

Beim Entwurf eines entsprechenden Materialprüfprogramms stellt sich unmittelbar die Frage nach den idealerweise zu fordernden Eigenschaften derartiger Schutzsysteme und danach, mit welchen spezifischen Prüfungen diese Eigenschaften ermittelt werden können.

Die ideale Schutzbeschichtung für Betonoberflächen müßte folgende, teilweise widersprüchlich erscheinende Eigenschaften aufweisen:

- völlige Undurchlässigkeit für flüssiges Wasser und damit auch für verdünnte Säuren (aus Regenwasser + sauren Gasen),
- völlige Durchlässigkeit für Wasserdampf, um den Feuchtigkeitstransport (Austrocknung) nicht zu behindern,
- völlige Undurchlässigkeit für sämtliche Schadgase (CO_2 , SO_2 usw.).
- plastisch/elastische Eigenschaften, Erhalt der Schutzwirkung bei Verformung

Diese Eigenschaften sind mit elementaren Materialeigenschaften verknüpft, die mittels geeigneter Meßmethoden bestimmt werden können:

a) Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme beschreibt das "Aufsaugen" flüssigen Wassers ohne äußeren Druck aufgrund von Kapillarkräften (Schlagregen, stehendes Wasser auf horizontalen Flächen, ablaufendes Wasser an geneigten Flächen). Gemessen wird sie als aufgesaugte Wassermenge (Wägung) pro Zeit und Fläche, entweder am Probekörper, der in flachem Wasserbad steht, oder direkt am Bauwerk. Relevant ist sie vor allem für poröse, dickschichtige Materialien (Beton, Mauerwerk, Putz, Zementmörtel), die nennenswerte Wassermengen aufnehmen können, wobei u. U. eine Verschlechterung der Wärmeisolation u. ä. auftritt. Für moderne Beschichtungsmaterialien auf Kunststoffbasis ist der Wasseraufnahmekoeffizient insofern von Bedeutung, als er einer Abschätzung der Durchlässigkeit für nicht drückendes Wasser ermöglicht.

b) Gas- bzw. Wasserdampfdurchlässigkeit

Die Gas- bzw. Wasserdampfdurchlässigkeit beschreibt den Durchgang von in der Luft enthaltenen Gasen (O_2 , CO_2 , SO_2 usw.) bzw. den von gasförmigem Wasser (Wasserdampf, Luftfeuchtigkeit) durch einen Baustoff oder eine Beschichtung. Die treibende Kraft ist ein Konzentrationsunterschied, d. h. es liegt ein Diffusionsvorgang vor.

Der Stofftransport durch Diffusion kann am Beispiel des Wasserdampfes wie folgt beschrieben werden:

Eine undurchlässige Wand trenne zwei Bereiche gleichen Luftdrucks, aber unterschiedlicher Luftfeuchtigkeit. Stellt man dazwischen eine Verbindung, z. B. durch eine Röhre mit dem Querschnitt F , her, so werden die verschiedenen Luftfeuchtigkeiten beginnen, sich auszugleichen. Dazu müssen Wassermoleküle von der feuchten zur trockeneren Seite wandern, während Luftmoleküle zum Ausgleich des Gesamtdruckes den umgekehrten Weg durchlaufen. Dieser Austausch wird umso schneller vonstatten gehen, je größer die Feuchtigkeitsdifferenz ist; er verlangsamt sich von selbst durch den fortschreitenden Ausgleich, so daß das endgültige Gleichgewicht nur asymptotisch erreicht wird. Füllt man die Röhre statt mit Luft mit einem porösen Material, so wird die Molekühlwanderung trotzdem, aber entsprechend langsamer ablaufen.

Diesen Materialtransport durch ein poröses Medium, wobei der Konzentrations- bzw. Teildruckunterschied die treibende Kraft darstellt, bezeichnet man als Diffusion. Kennzeichnend für Diffusionsvorgänge ist, daß sie vergleichsweise lange Zeiträume benötigen. Eine exakte mathematische Beschreibung ermöglichen die Fickschen Gesetze.

c) Spannungs-Dehnungsbeziehungen

Für elastische Dichtungsschlämmen ist neben den vorstehend genannten Eigenschaften ebenfalls von ausschlaggebender Bedeutung, in-

wieweit sie in der Lage sind, auftretende Risse zu überbrücken. Dies mündet in der zusätzlichen Forderung einer ausreichenden Verformungsfähigkeit und Zugfestigkeit bei allen in der Praxis auftretenden Temperaturen.

Die die Verformungsfähigkeit beschreibenden Parameter Reißfestigkeit, Reißdehnung oder E-Modul können aus Spannungs-Dehnungsversuchen, die bei unterschiedlichen Temperaturen durchgeführt werden, ermittelt werden.

d) Glastemperatur

Materialtechnisch gesehen, ist die Temperaturabhängigkeit des elastischen Verhaltens (z. B. E-Modul) stark vom Glaspunkt der Kunststoffdispersion abhängig, der dadurch u. U. eine charakterisierende Kenngröße, für die Fähigkeit der Schlämme, rißüberbrückend zu wirken, darstellen kann. Die Glastemperatur der Dispersion läßt sich aus differentialkalorimetrischen (DSC) Messungen bestimmen.

3. Untersuchungsprogramm, Beschreibung der eingesetzten Verfahren

Einige handelsübliche elastische Dichtungsschlämmen wurden vergleichend auf ihre Eignung für den Betonoberflächenschutz hin untersucht. In Tabelle 3.1 sind die Mischungsverhältnisse von Trockenkomponente und Dispersion für die fünf untersuchten Materialien zusammengestellt. An den Ausgangskomponenten und den vorschriftsmäßig hergestellten Schlämmen wurden die folgenden Untersuchungen durchgeführt:

Identitätsuntersuchungen mittels:

- Differentialthermoanalyse und Thermogravimetrie (DTA/TG)

Eignungsuntersuchungen durch Bestimmen von

- Wasserdampfdurchlässigkeit
- CO₂-Durchlässigkeit
- Wasseraufnahmekoeffizient

- Spannungs-Dehnungsbeziehungen bei verschiedenen Temperaturen
- Haftzugfestigkeit auf Beton nach Wechselbeanspruchungen
- Glasstemperatur der Dispersion

Tabelle 3.1:

Zusammenstellung der untersuchten Materialien und deren Mischungsverhältnisse von Trockenkomponente und Dispersion

Material	Pulver	Dispersion	Dicke
I	2 GT	1 GT	ca. 2 mm
II	5	3	ca. 3 mm
III	2	1	ca. 2 mm
IV	10	7,5	ca. 2 mm
V	7	3	ca. 2 mm

Die für die Messungen eingesetzten Verfahren und die Versuchsdurchführung sollen im folgenden kurz erläutert und beschrieben werden:

3.1 Differentialthermoanalyse und Thermogravimetrie

Die Differentialthermoanalyse (DTA) und die Thermogravimetrie (TG) werden meist kombiniert als besonders empfindliche Nachweisverfahren für bestimmte Verbindungen eingesetzt. Im Gegensatz zur Röntgenfeinstrukturanalyse können mit diesen Methoden auch nichtkristalline oder feinverteilt polykristalline Phasen nachgewiesen werden.

Das Prinzip der DTA beruht auf der Bestimmung von Temperaturdifferenzen, die zwischen einem Inertmaterial und pulverisiertem Probenmaterial während einer geregelten Aufheizung auftreten (vgl. Abb. 3.1).

Die Temperaturdifferenzen sind je nach Vorzeichen als nach oben oder unten gerichtete Peaks in der Meßkurve erkennbar und können exo- bzw. endothermen Reaktionen im Probenmaterial zugeordnet werden.

Bei der TG wird der Gewichtsverlust, der möglicherweise bei einer Reaktion auftritt, registriert. Sofern die mittels DTA nachgewiesenen Reaktionen mit einem Gewichtsverlust verbunden sind, treten Peaks in der DTA und DTG (1. Ableitung der TG-Kurve) simultan auf. Die Peaks der DTA- bzw. DTG-Kurve können anhand der Temperatur, bei der sie auftreten, bestimmten Zersetzungs- oder Umwandlungsreaktionen und somit bestimmten Verbindungen zugeordnet werden. Die Fläche eines Peaks entspricht der Menge der entsprechenden Phase. Mit Hilfe der simultanen DTA-TG-Messungen wurden an den Ausgangsstoffen der elastischen Schlämme Identitätsprüfungen durchgeführt. Aus der TG-Kurve konnte darüberhinaus der Trocknungsverlust der Dispersion bestimmt werden.

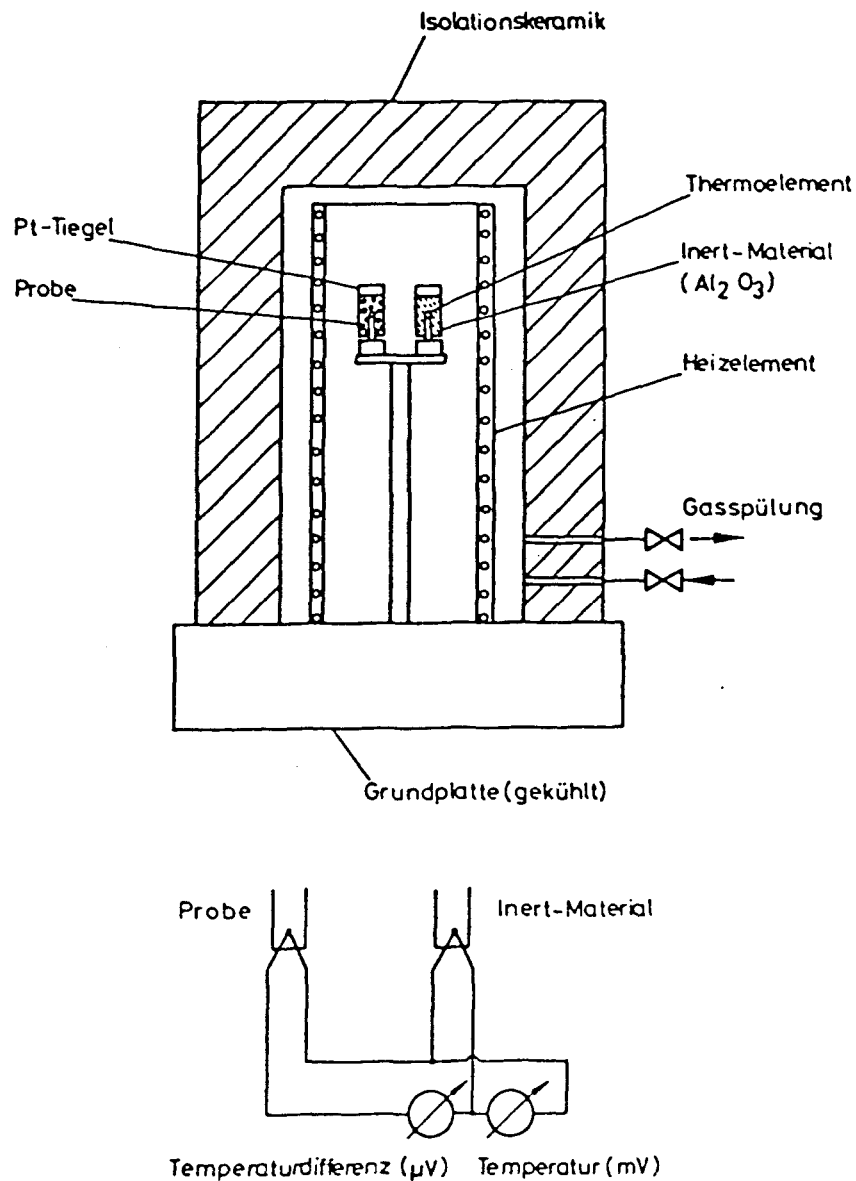


Abb. 3.1: Prinzip der Differentialthermoanalyse

3.2 Diffusions-Durchlässigkeitsmessungen

Die Ermittlung der Wasserdampfdurchlässigkeit erfolgt gemäß DIN 52 615, Blatt 1 (Baustoffe) bzw. DIN 53 122, Blatt 1 (folienartige Materialien), die Durchlässigkeit für CO_2 wird in Anlehnung an diese Normen mit ähnlichen Mitteln gemessen:

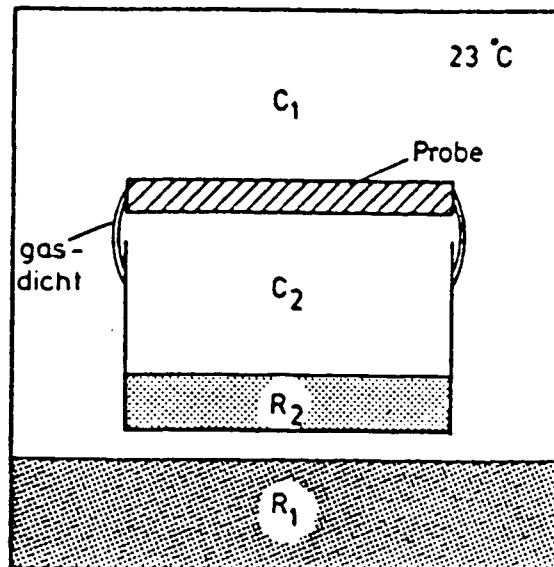


Abb. 3.2: Schematische Darstellung einer Versuchsanordnung für Diffusionsmessungen

Eine Probe des zu untersuchenden Materials muß einer konstanten Konzentrationsdifferenz von Wasserdampf bzw. CO₂ ausgesetzt werden, d. h. zu beiden Seiten der Probe müssen unterschiedliche Konzentrationen über die Versuchsdauer aufrecht erhalten werden. Dazu wird die Probe mit einer speziellen Wachsmischung gasdicht auf ein Gefäß mit definierter Öffnungsfläche gekittet, in dem durch ein Reagens R₂ die Konzentration C₂ erzeugt wird. Dieses Probengefäß wird in einen abgeschlossenen Behälter gestellt, in dem seinerseits das Reagens R₁ für die konstante Konzentration C₁ sorgt (vgl. Abb. 3.2). Je nach Richtung des Konzentrationsgefälles diffundiert H₂O-Dampf bzw. CO₂ durch die Probe in das damit verbundene Gefäß hinein oder aus diesem heraus. Die diffundierte Stoffmenge bewirkt so eine Gewichtszu- oder abnahme des Systems Probe + Probengefäß + Reagens R₂, die durch Wägung ermittelt wird. Die Waage kann sich mitsamt dem Probengefäß in dem Behälter mit R₁/C₁ befinden; andernfalls muß der Behälter zur Wägung kurzzeitig geöffnet und das Probengefäß entnommen werden. Wenn die hierfür benötigte Zeit, während der zwangsläufig das Konzentrationsgefälle an der Probe verändert wird, sehr kurz gegenüber der gesamten Versuchsdauer ist, kann die dadurch verursachte Meßwertverfälschung

vernachlässigt werden. Bei der Berechnung der Stoffmengenstromdichte j (vgl. Abschnitt 3.2.3) ist zu beachten, daß sich oft nicht sofort bei Versuchsbeginn ein stabiler Diffusionsstrom einstellt. Erst wenn die Gewichtsänderung bei mehreren aufeinanderfolgenden Messungen linear mit der Zeit ansteigt, ist die stationäre Phase des Diffusionsvorganges erreicht und eine sinnvolle Auswertung möglich.

3.2.1 Wasserdampfdurchlässigkeit

Die größtmögliche Konzentrationsdifferenz $|c|$, die an der Probe zu erzeugen wäre, beträgt 100 %; hierzu müßte sich auf der einen Probenseite völlig trockene (0 % r. F.), auf der anderen mit Feuchtigkeit gesättigte Luft (100 % r. F.) befinden. Diese Anordnung ist jedoch praxisfremd, da solche Differenzen in natürlicher Umgebung im allgemeinen nicht auftreten. Dieser Umstand wäre ohne Bedeutung, wenn man davon ausgehen könnte, daß der Diffusionswiderstand des untersuchten Materials selbst nicht feuchtigkeitsabhängig ist; sein Wert wäre dann für jedes beliebige Feuchteintervall der gleiche. Zur Klärung dieser Frage müßte die Wasserdampfdurchlässigkeit in mehreren kleinen, über den gesamten Feuchtebereich verteilten Abschnitten gemessen werden (z. B. 0 - 10 % r. F., 10 - 20 % r. F. ... 90 - 100 % r. F.).

In DIN 52 615 ist ein Kompromiß gewählt worden, indem die beiden Teilintervalls 0 - ca. 50 % r. F. (Trockenbereichsverfahren) und ca. 50 - ca. 95 % r. F. (Feuchtebereichsverfahren) vorgeschlagen werden. Zur Messung beschränkt man sich in der Regel auf das den realen Einsatzbedingungen des untersuchten Stoffes näherstehende der beiden Verfahren; für die hier behandelte Gruppe der Beschichtungsmaterialien für Betonoberflächen ist dies im allgemeinen das Feuchtebereichsverfahren.

Eine einfache Methode zur Erzeugung und Konstanthaltung von Wasserdampfkonzentrationen besteht in der Verwendung gesättigter Salzlösungen, über denen sich im abgeschlossenen Volumen eine für das jeweilige Salz charakteristische relative Luftfeuchte ein-

stellt. Eine Tabelle der gebräuchlichsten Salze und der zugehörigen Feuchten ist in DIN 53 122, Teil 2 angegeben. Klimate mit 0 % r. F. lassen sich mit sog. Trockenmitteln erzeugen; solche mit nahezu 100 % r. F. stellen sich über reinem Wasser ein.

3.2.2 CO₂-Durchlässigkeit

Zur Messung der Diffusionswiderstandszahl für CO₂ wird prinzipiell die gleiche Anordnung wie beim Trockenbereichsverfahren benutzt; im Probengefäß befindet sich ein Absorbermaterial R₂ (z. B. Natrionasbest), welches das hineindiffundierte CO₂ bindet und so die Konzentration C₂ = 0 % CO₂ erzeugt. Als äußere Konzentration C₁ könnte normale Luft verwendet werden, doch ist deren CO₂-Gehalt mit ca. 0,03 Vol.-% so gering, daß zuverlässig wägbare Mengen - insbesondere bei hochsperrenden Beschichtungen - erst im Laufe von Monaten und Jahren eindiffundieren würden. Man benutzt daher eine künstliche Atmosphäre mit erhöhtem CO₂-Gehalt (z. B. 10 % CO₂), die aus synthetischer Luft (80 % N₂, 20 % O₂) und reinem CO₂ gemischt wird. Da für CO₂ keine selbstregulierenden Systeme - wie die gesättigten Salzlösungen für Wasserdampf - existieren, muß die Konzentration permanent überwacht und ggf. korrigiert werden. Die Messung erfolgt entweder in bestimmten Zeitabständen mit Prüfröhrchen oder kontinuierlich mittels eines elektrischen Gassensors. Eine andere Möglichkeit zur Konstanthaltung der CO₂-Konzentration ist die Verwendung eines kontinuierlichen Gasstroms durch die Prüfkammer, dessen Zusammensetzung durch je einen elektronischen Durchflußmengenregler für synthetische Luft und CO₂ bestimmt wird. Durch die ständige Erneuerung des Kammerinhalts werden Konzentrationsänderungen infolge der CO₂-Absorption in den Probengefäßen oder durch kleine Leckstellen der Prüfkammer vermieden.

Ein Problem besteht in der Tatsache, daß alle bekannten CO₂-Absorber auch Wasserdampf aufnehmen. Um Meßfehler zu vermeiden, muß in absolut trockener Atmosphäre gearbeitet werden; zur Sicherung sollten immer Vergleichsproben mit reinen Feuchteabsorbern den Prüfzyklus mit durchlaufen, um ggf. eine geringe Wasserdampfaufnahme rechnerisch korrigieren zu können.

3.2.3 Berechnungsverfahren für die CO₂- und Wasserdampfdurchlässigkeit

Diffundiert eine Stoffmenge (Masse!) m in der Zeit t durch eine Fläche F , so erzeugt sie die Stoffmengenstromdichte j :

$$j = \frac{m}{F \cdot t} \quad \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}^2 \cdot \text{sec}} \right] \quad (1)$$

Wenn die Fläche F auf 1 m² und die Zeit t auf 24 h normiert werden, stellt j den bekannten Wert für die Wasserdampfdurchlässigkeit (WDD-Wert) dar (DIN 53 122, Teil 1).

Über das 1. Fick'sche Gesetz ist die Stoffmengenstromdichte j mit der Konzentrationsdifferenz verknüpft:

$$j = D \cdot \frac{|c|}{S} \quad \text{mit } |c|: \text{ Konzentrationsdifferenz } \quad (2)$$

[kg/m³]

bzw. D : Diffusionskoeffizient
[m²/sec]

$$j \cdot S = D \cdot |c| \quad S: \text{ Schichtdicke [m]} \quad (3)$$

Der Diffusionskoeffizient D ist eine stoffspezifische Konstante, die die Durchlässigkeit eines bestimmten Materials für ein bestimmtes Gas ausdrückt. Man könnte D für jede Stoffpaarung experimentell bestimmen und damit j für vorgegebene Schichtdicke s und Konzentrationsdifferenz $|c|$ berechnen. Da ein solcher absoluter Zahlenwert wenig anschaulich ist, bezieht man sich auf die Durchlässigkeit von Luft als durchlässigstes aller real vorkommenden Medien und gelangt so zur Diffusionswiderstandszahl μ für das betreffende Material:

$$\mu = \frac{j_L \cdot S_L}{j_M \cdot S_M} \quad \begin{array}{l} \text{mit Index L: Luft} \\ \text{M: betr. Material} \end{array} \quad (4)$$

μ ist eine reine Verhältniszahl, ohne Einheit, und gibt den Faktor an, um wieviel durchlässiger für das diffundierende Gas eine Luftschicht wäre als eine gleichdicke Schicht des betrachteten Materials (formal: $S_L = S_M$ gesetzt, μ gibt dann Verhältnis der Stoffmengenstromdichten an).

Da für die meisten Gase der Diffusionskoeffizient D_L in Luft bekannt ist, drückt man μ unter Benutzung von Gl. (3) im allgemeinen folgendermaßen aus:

$$\mu = \frac{D_L \cdot |c|}{j_M \cdot S_M} \quad \begin{array}{l} D_L(\text{H}_2\text{O}) = 2,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \\ D_L(\text{CO}_2) = 1,6 \cdot 10^{-5} \frac{\text{m}^2}{\text{sec}} \end{array} \quad (5)$$

Die Diffusionswiderstandszahl μ ist ein Materialkennwert für die Durchlässigkeit bzw. Sperrwirkung gegenüber einem bestimmten Gas und als solcher unabhängig von der konkreten Schichtdicke; erst das Produkt mit der Schichtdicke ist ein Maß für den tatsächlichen Diffusionswiderstand einer realen Beschichtung! Dieses Produkt bezeichnet man als diffusionsäquivalente Luftschichtdicke s_d :

$$s_d = \mu \cdot S_M \quad [\text{m}] \quad (6)$$

s_d gibt an, wie dick eine Luftschicht wäre, die den gleichen Diffusionswiderstand besitzt wie das betrachtete Material der Schichtdicke S_M (formal: in Gl. $j_L = j_M$ gesetzt und nach S_L aufgelöst). s_d wird teilweise in der Literatur auch direkt als Diffusionswiderstand W bezeichnet. Bei mehreren übereinanderliegenden Schichten ergibt sich der Gesamtdiffusionswiderstand aus der Summe der einzelnen s_d -Werte. Im vorliegenden Bericht werden die Ergebnisse der Diffusionsmessungen als s_d -Werte angegeben.

3.3 Bestimmung der Wasseraufnahme durch kapillares Saugen

Die Wasseraufnahme wurde in Anlehnung an DIN 52 617 gemessen. Abweichend von der in der o. g. DIN vorgeschriebenen Prüfungsdurchführung wurden die Proben jedoch von oben mit einem dünnen Wasserfilm beaufschlagt. Der sich dabei einstellende hydrostatische Druck wird vernachlässigt. Die Bestimmung des Wassereindringkoeffizienten erfolgt durch Wägen in bestimmten Zeitabständen und durch Auswertung des linearen Teils der Abhängigkeit der Wasseraufnahme W von der Quadratwurzel der Zeit t .

$$W_t = \frac{\Delta W_t}{\Delta \sqrt{t}} \quad (7)$$

3.4 Bestimmung der Spannungs-Dehnungsdiagramme

Da insbesondere bei tiefen Temperaturen unter dem Gefrierpunkt eine Versprödung des Materials einsetzen kann, die die Anwendbarkeit in Frage stellen könnte, wurden Spannungsdehnungslinien bei unterschiedlichen Temperaturen aufgenommen. Zwei Materialien wurden in engen Temperaturschritten von 10 bzw. 20 K zwischen +80 und -40 °C untersucht; bei den übrigen wurde nur bei den beiden Temperaturen +23 °C (Raumtemperatur) und -20 °C gemessen. Die Zugspannungs-Dehnungskurven wurden in Anlehnung an DIN 53 455 ermittelt. Aus den Kurven wurden die charakteristischen Kennwerte Reißfestigkeit und Reißdehnung bestimmt.

3.5 Haftzugmessungen

Für die Durchführung von Haftzugmessungen wurden die elastischen Schlämmen auf gesandstrahlte Betonflächen der Abmessung 20 x 20 cm² aufgetragen und anschließend 28 d im Normalklima 20/65 gelagert. Die Beschichtung der Betonflächen mit den elastischen Schlämmen erfolgte - soweit vorgeschrieben - nach Aufbringen entsprechender Grundierungen in einer Dicke von ca. 2 mm. Für eine

realistische Simulation der in der Praxis auftretenden Beanspruchungen wurden die derart vorbereiteten Probekörper unterschiedlichen Temperatur- und Feuchtewechseln ausgesetzt, an deren Anschluß die Haftzugmessungen erfolgten. Es wurden zwei Beanspruchungszyklen durchfahren und Versuche an Nullproben durchgeführt:

- a) Lagerung bei Normalklima 20/65 (Nullprobe)
- b) 30 Temperaturwechsel in Luft zwischen -20 °C und +60 °C
 -20 °C : 6 h, davon 3 - 4 h Abkühlphase
 +60 °C : 2 h, davon 0,5 h Aufheizphase
- c) 20 Feuchte-Trockenwechsel,
 Untertauchen in Wasser 4 h (Leitungswasser), anschließend Trocknung in Luft bei +40 °C, 20 h.

Nach der Wechselklimabelastung wurden auf der 20 x 20 cm' großen Oberfläche vier Bohrungen ϕ 50 mm, ca. 30 mm tief mit einem Diamanthohlbohrer naß angebracht.

Die Ermittlung der Haftzugfestigkeiten erfolgte auf den vorgebohrten Stellen mit einem Prüfstempel von 50 mm Durchmesser und einer Lastanstiegsgeschwindigkeit von 100 N/S..

3.6 Differenzkalorimetrie

Die Differenzkalorimetrie (DSC) ist eine direkte quantitative Meßmethode zur Bestimmung des Wärmeumsatzes bzw. der Enthalpieänderung einer Probe, die einem kontrollierten Temperaturprogramm mit konstanten Heizraten unterworfen wird. Dabei wird der Wärmestrom von und zur Probe gemessen. Die Hauptanwendung dieses der DTA/TG verwandten Verfahrens liegt neben der Messung des Wärmeumsatzes bei thermischen Effekten und Reaktionen auch in der Bestimmung von Umwandlungstemperaturen und Reaktionskinetiken.

4. Meßergebnisse

4.1 Identitätsprüfung, Feststoffgehalt der Dispersionen

Zur Identitätsprüfung wurden beide Komponenten der fünf ausgesuchten Schlämmen mittels DTA/TG untersucht. In der Abb. 4.1 - 1 sind die Ergebnisse der DTA für die Trockenkomponenten A der Materialien zusammenfassend dargestellt. Es ist eindeutig zu erkennen, daß die Trockensubstanzen der Materialien II und IV identisch sind. Bei den Materialien I, III und V zeigen sich zwar Ähnlichkeiten im Kurvenverlauf, sie sind jedoch nicht identisch.

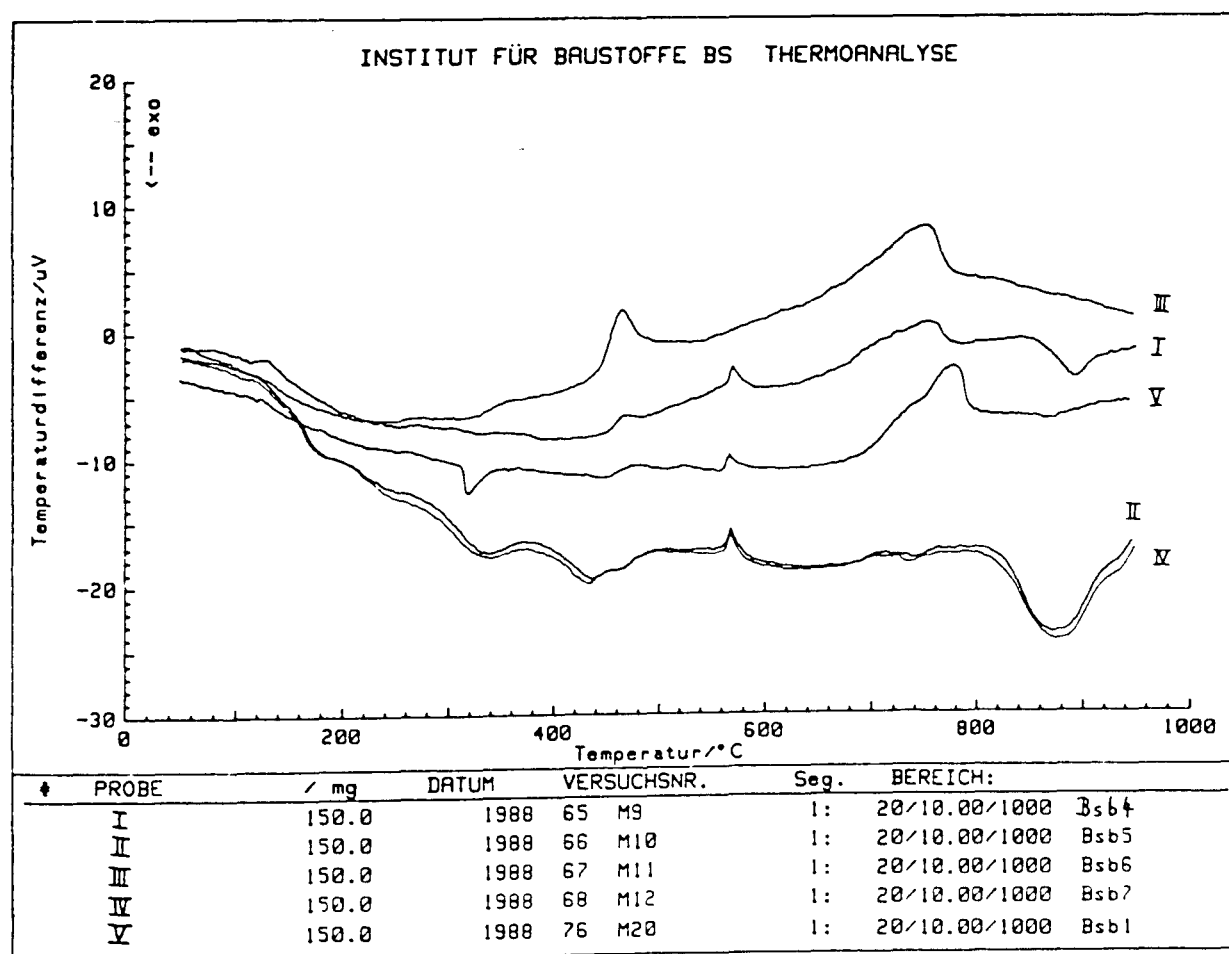


Abb. 4.1: DTA-Diagramme der Trockenkomponenten der elastischen Schlämme

Die auftretenden Peaks können ohne weitergehende Untersuchungen nicht alle identifiziert werden. Folgende Aussagen sind jedoch möglich:

Bei den Materialien I und III deutet ein Peak bei ca. 480 °C auf das Vorhandensein von $\text{Ca}(\text{OH})_2$ hin, das durch Reaktion mit der Luftfeuchtigkeit entstanden sein muß. Bei allen Materialien außer der Nummer III zeigt ein Peak bei ca. 570 °C die Umwandlung von kristallinem Quarz von der α zur β -Modifikation an. Diese Materialien enthalten demnach geringe Mengen von Quarz bzw. Quarzmehl.

Die Ergebnisse der TG-Messungen wurden nicht dargestellt, da sie hier keine über die DTA-Ergebnisse hinausgehenden Informationen liefern.

In der Abb. 4.2 sind die Ergebnisse der DTA für die Flüssigkomponenten B (Dispersionen) der Materialien zusammenfassend dargestellt. Es sind i. w. zwei Reaktionsbereiche zu erkennen. Ab ca. 100 °C und sich bis ca. 200 °C fortsetzend wird das in der Dispersion enthaltene Wasser verdampft. Der zweite Reaktionsbereich beginnt bei ca. 330 °C bei den Materialien II, III und IV und bei den Materialien I und V bei ca. 370 °C. Er zeigt die Zersetzung der Kunststoffkomponente an. Große Ähnlichkeit im Kurvenverlauf zeigen wiederum die Materialien II und IV, zusätzlich auch das Material III. Material Nr. V weicht insofern von den vier anderen Materialien ab, als daß die Reaktion im 2. Bereich (> 350 °C) endothermer und nicht exothermer Natur ist.

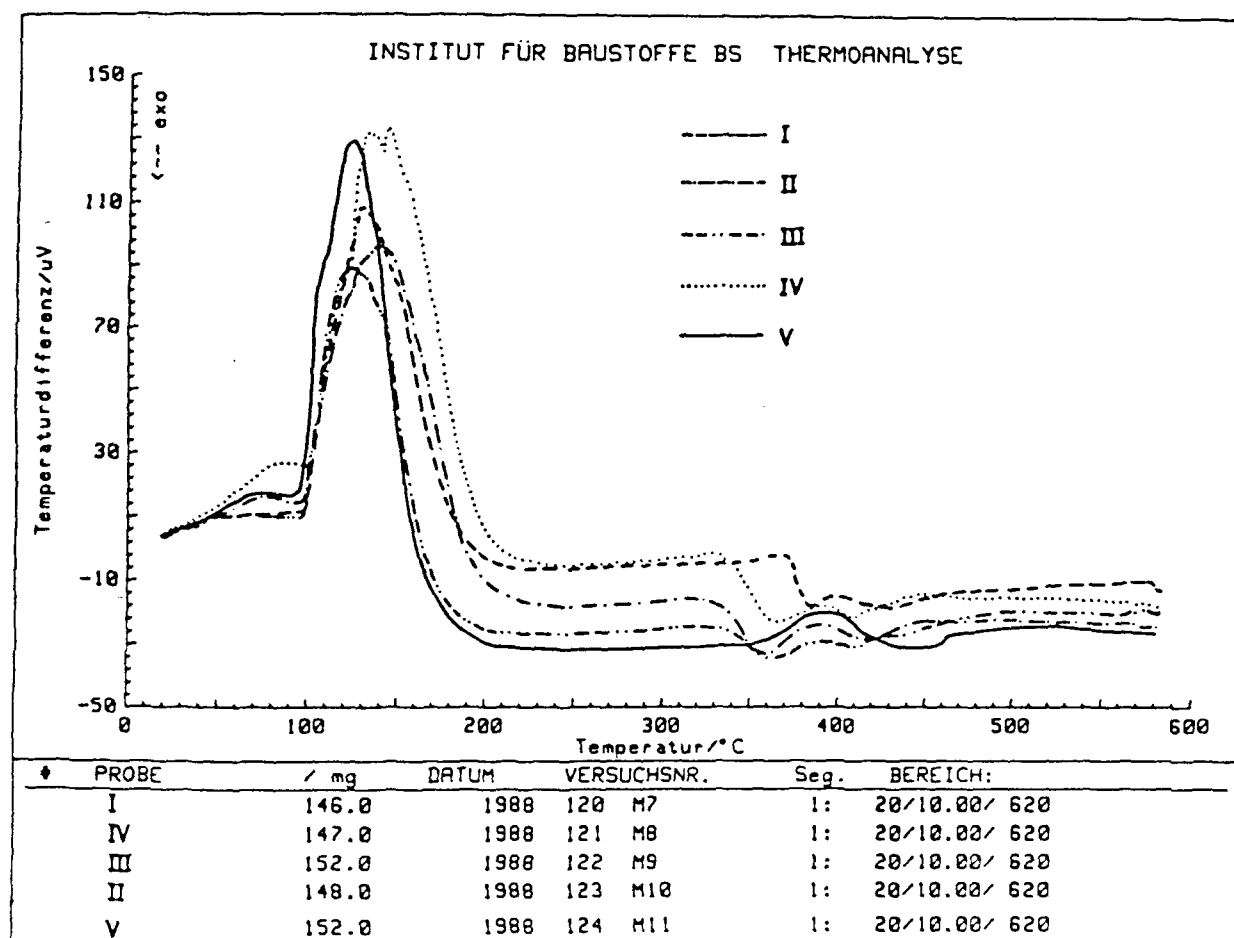


Abb. 4.2: DTA-Diagramme der Flüssigkomponenten der elastischen Schlämmen

Die Menge der vorliegenden Verbindungen kann aus der Fläche der Peaks im Vergleich zueinander abgeschätzt werden. Dies ist jedoch günstiger anhand der TG/DTG-Messungen möglich, die eine höhere Auflösung besitzen und eine prozentuale Angabe der reagierten Menge bezogen auf das Ausgangsgewicht erlauben.

Die Abb. 4.3 bis 4.7 zeigen die TG- und DTG-Kurven, aus denen der Gewichtsverlust der jeweiligen Reaktionsstufen bestimmt wurde. In Tabelle 4.1 sind für die verschiedenen Dispersionen die Verhältnisse von Wasser- zu Kunststoffgehalt angegeben.

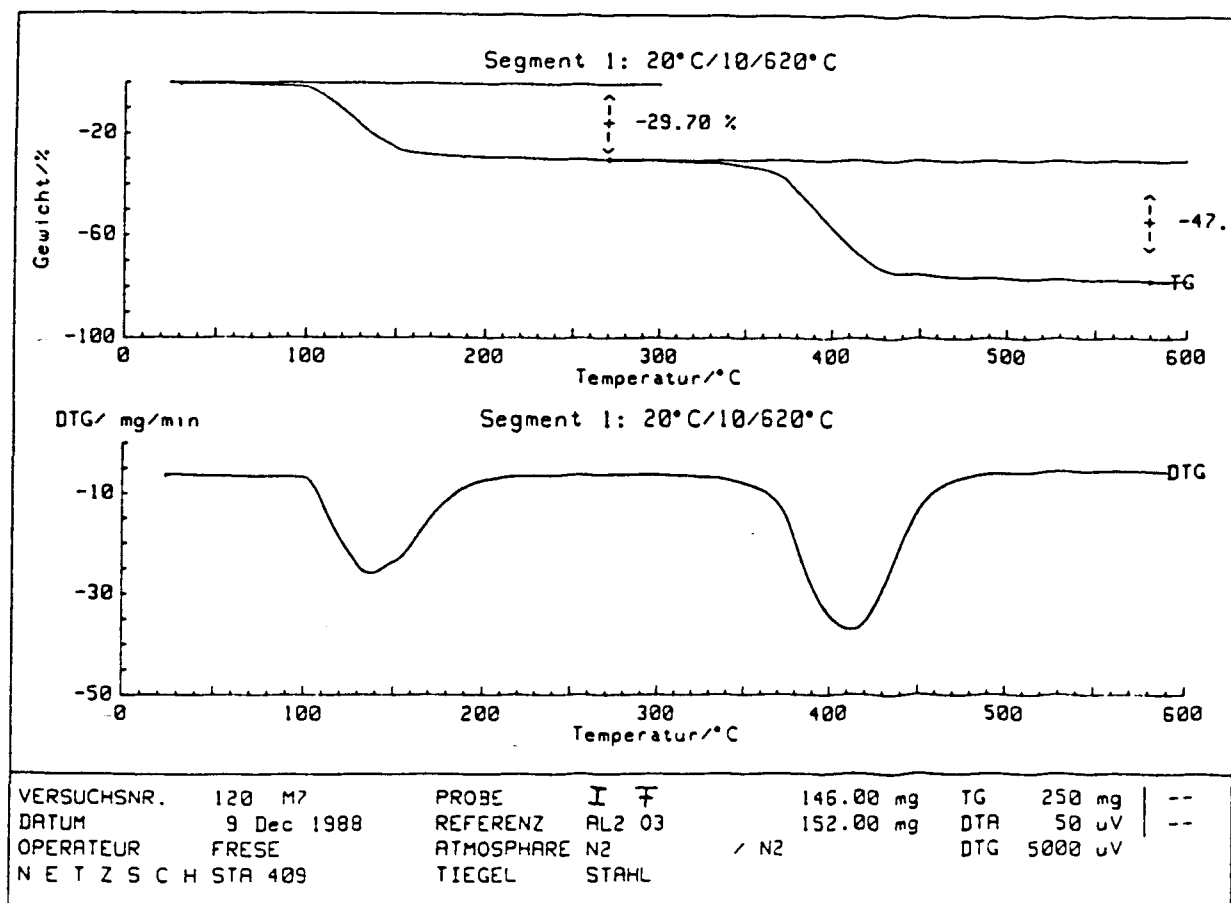


Abb. 4.3: TG/DTG-Diagramme der Dispersion der Schlämme I

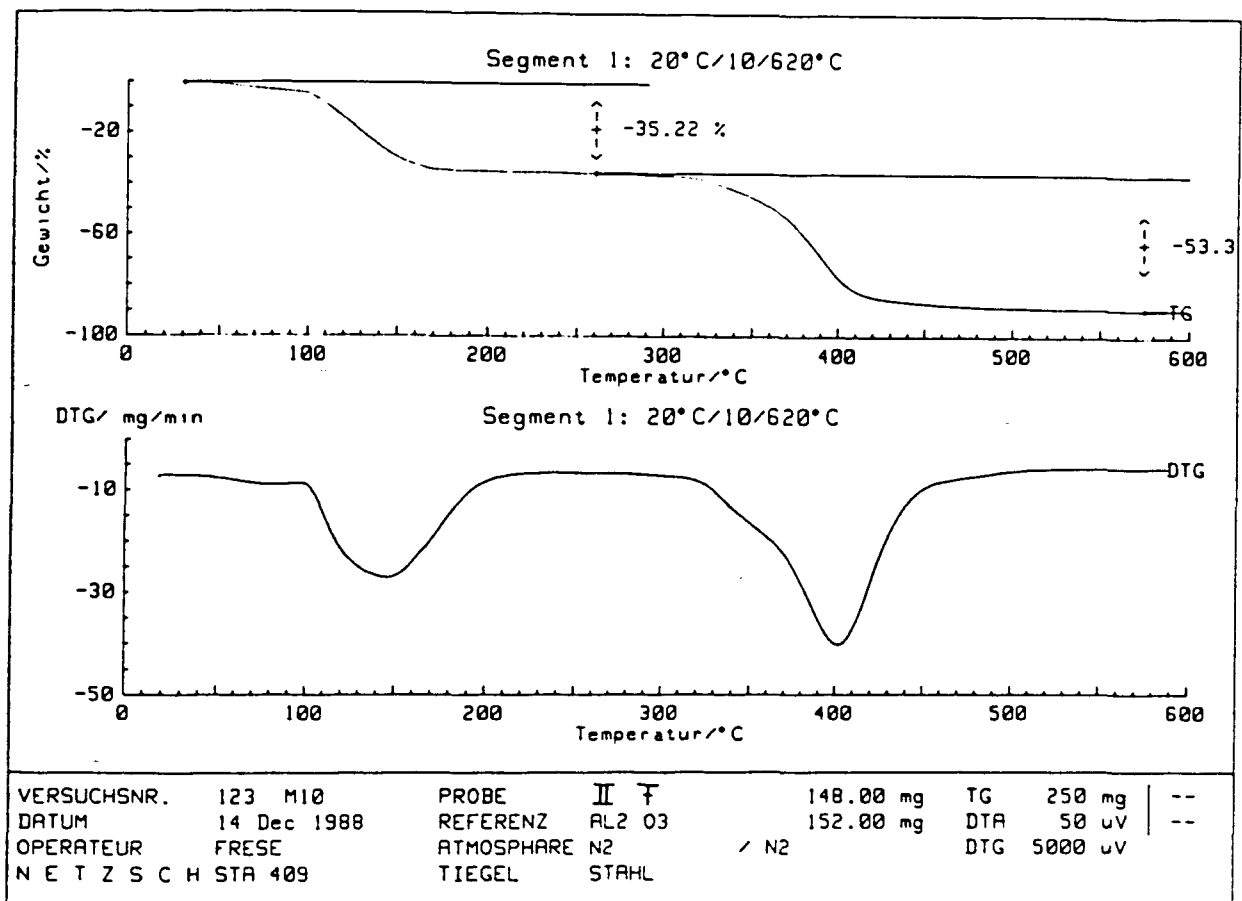


Abb. 4.4: TG/DTG-Diagramme der Dispersion der Schlämme II

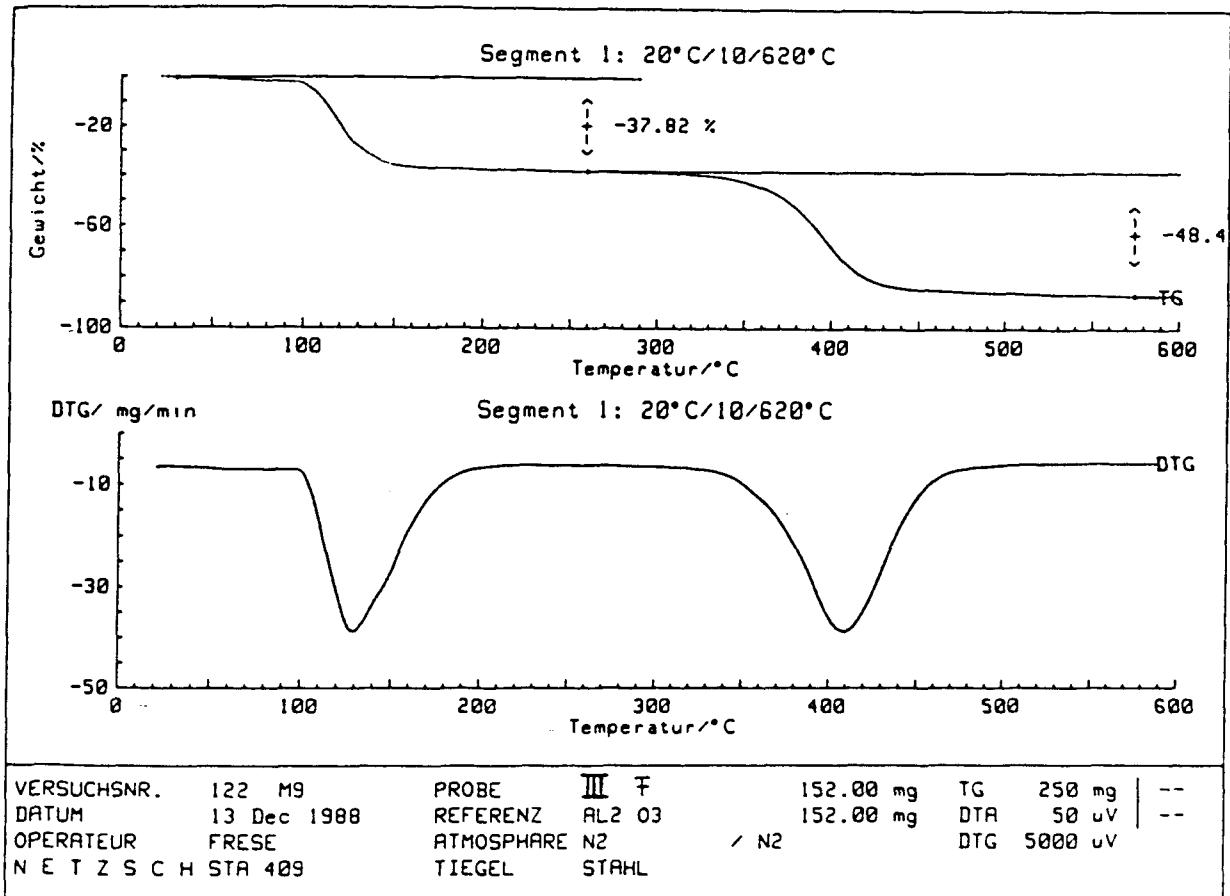


Abb. 4.5: TG/DTG-Diagramme der Dispersion der Schlämme III

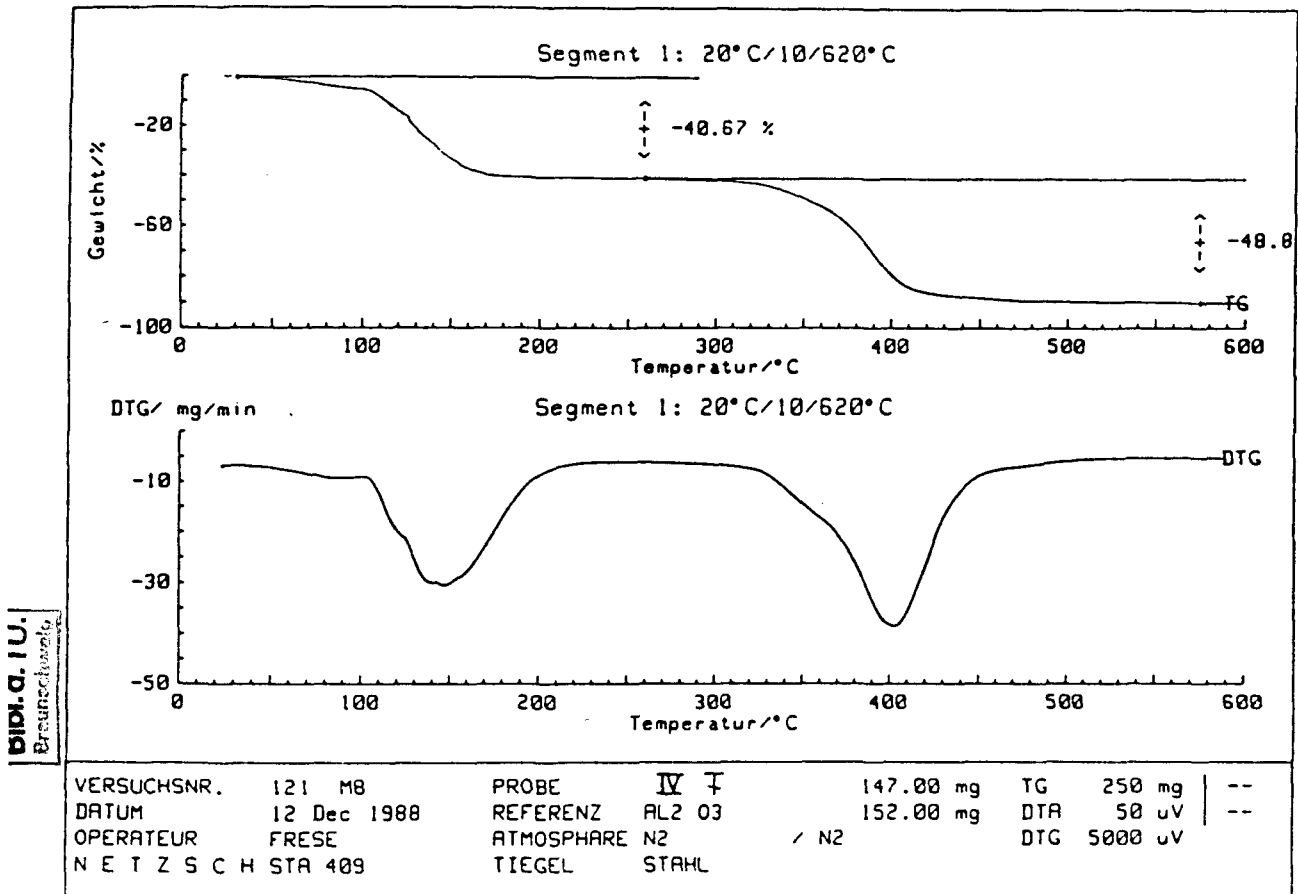


Abb. 4.6: TG/DTG-Diagramme der Dispersion der Schlämme IV

Die Dispersion des Materials I hat den größten Kunststoffanteil, gefolgt von der des Materials II; beim Material V ist er am geringsten.

4.2 Wasserdampfdurchlässigkeit

Die Ergebnisse der Wasserdampfdurchlässigkeitsmessungen, wie sie entsprechend Kap. 3.2.1 im Feuchtebereich durchgeführt wurden, sind für die fünf ausgesuchten Schlämmen in der Tabelle 4.2 zusammengestellt. Die mittlere Schichtdicke der Schlämme ist ebenfalls mit aufgeführt.

Tabelle 4.2:

Zusammenstellung der Meßergebnisse der Wasserdampfdiffusionsuntersuchungen

Material	Schichtdicke - [mm]	$\mu\text{H}_2\text{O}$ [10^3]	$S_d\text{H}_2\text{O}$ [m]
I	1,6	0,84	1,35
II	./.	./.	./.
III	3,0	0,66	1,99
IV	1,1	0,58	0,64
V	1,0	1,2	1,2

Wenn man diese Werte mit denen vergleicht, die typischerweise von üblichen Schutzanstrichen erzielt werden, so muß die mit 100 - 300 μm in der Praxis deutlich geringere Schichtdicke der Schutzanstriche berücksichtigt werden. D. h., für den Vergleich muß der S_d -Wert herangezogen werden (vgl. Abschnitt 3.2.3), der die Schutzwirkung eines Materials für die in der Praxis aufzutragende Schichtdicke charakterisiert.

Schutzanstriche erreichen - je nach Typ - $S_d(\text{H}_2\text{O})$ -Werte von 0,5 - 1 m (Dispersionen) bzw. 2 - 4 m (lösungsmittelhaltige Anstriche).

Die hier für die elastischen Schlämmen ermittelten Werte liegen in der gleichen Größenordnung.

4.3 CO₂-Durchlässigkeit

Die Ergebnisse der CO₂-Durchlässigkeitsmessungen wie sie nach dem in Kap. 3.2.2 bzw. 3.2.3 beschriebenen Verfahren - d. h. im CO₂-Konzentrationsgefälle von 10 % → 0 % und bei 0 % r. F. - durchgeführt wurden sind in Tabelle 4.3 zusammengestellt. Die mittleren Schichtdicken der elastischen Schlämmen sind ebenfalls mit angegeben.

Tabelle 4.3:

Zusammenstellung der Meßergebnisse der CO₂-Diffusionsuntersuchungen

Material	Schichtdicke [mm]	μ_{CO_2} [10 ³]	$S_d\text{CO}_2$ [m]
I	1,6	360	580
II	2,8	478	1341
III	2,8	220	640
IV	1,1	440	482
V	1,6	250	250

Ein Vergleich der S_d -Werte mit denen üblicher Schutzanstriche (100 - 500 m) zeigt, daß die elastischen Schlämmen genauso gute Sperrwirkungen wie Schutzanstriche aufweisen.

In Abb. 4.8 a) ist die CO₂-Sperrwirkung (μ -Wert) gegen den Kunststoffanteil der Schlämmen aufgetragen. Neben dem Kunststoffgehalt in der Dispersion mußte das Mischungsverhältnis der beiden Ausgangskomponenten berücksichtigt werden, um den tatsächlichen Kunststoffanteil der Schlämmen zu ermitteln.

Wie aus Abb. 4.8 a) zu erkennen ist, scheint eine Abhängigkeit der

Sperrwirkung gegen CO_2 vom Kunststoffanteil der Materialien vorzuliegen. Mit steigendem Kunststoffanteil steigt die Sperrwirkung gegen CO_2 an. Eine versuchsweise lineare Approximation der Meßwerte ergibt für die Materialien 1 - 4 einen linearen Zusammenhang mit einem Regressionsfaktor von 0,87. Wird das Material Nr. 5 mit hinzugenommen, so verschlechtert sich die Regression auf 0,74. Es wäre denkbar, daß neben einer Abhängigkeit der CO_2 -Sperrwirkung vom Kunststoffgehalt der Materialien auch eine Abhängigkeit von der Glastemperatur der Kunststoffdispersion vorliegt. Dem liegt die Vorstellung zugrunde, daß mit dem Erweichen des Kunststoffs die Sperrwirkung gegen CO_2 abnimmt. In Abb. 4.8 b) ist daher die CO_2 -Sperrwirkung gegen das Produkt aus Kunststoffanteil und der auf absolute Raumtemperatur bezogenen absoluten Glastemperatur aufgetragen. Für die Materialien 1 - 4 verbessert sich dadurch der lineare Zusammenhang auf eine Regression von 0,92. Für alle fünf Materialien ergibt sich eine schlechtere Regression von 0,65.

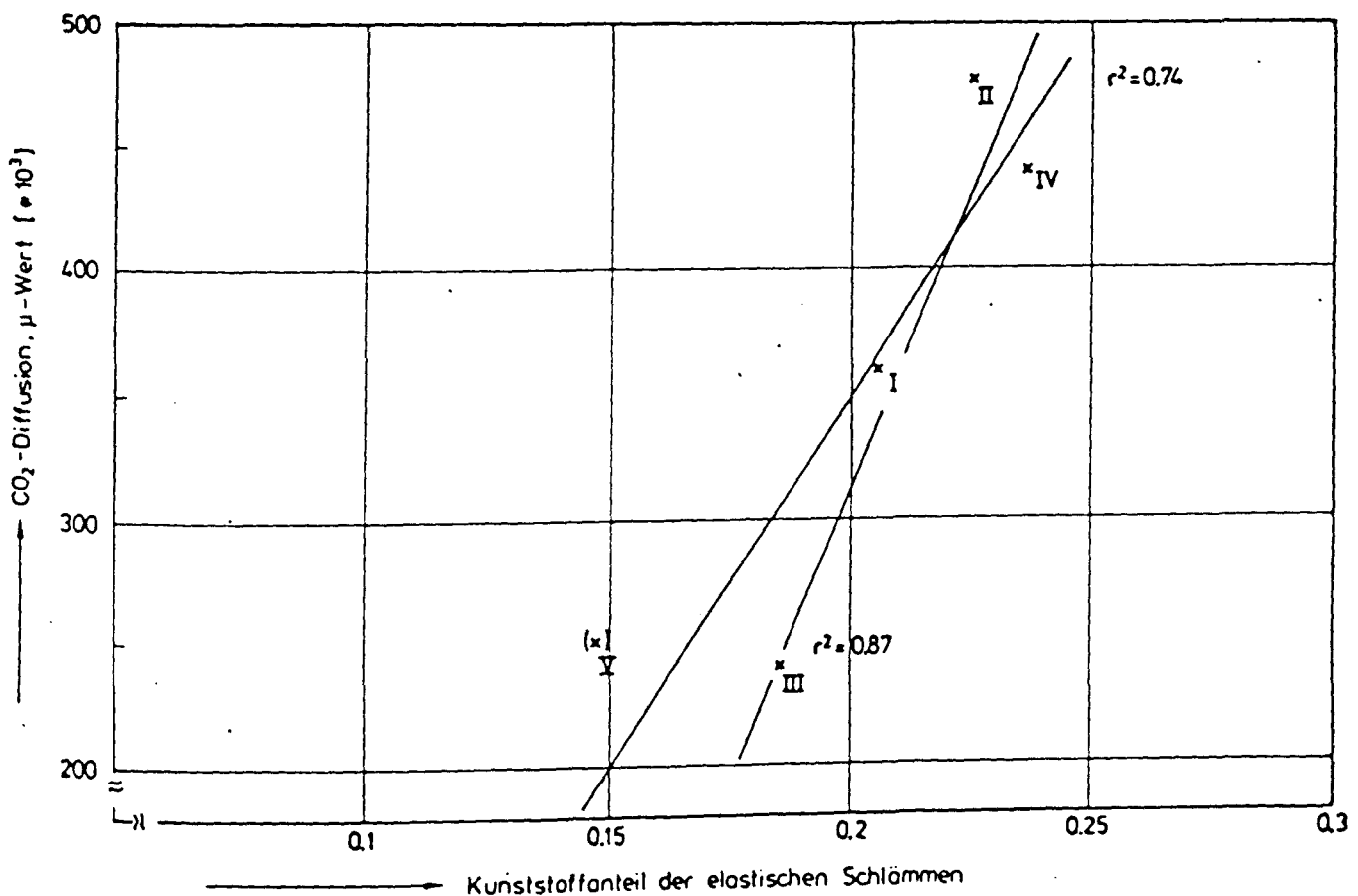


Abb. 4.8 a): Darstellung der CO_2 -Diffusionswerte in Abhängigkeit vom Kunststoffanteil der Schlämmen

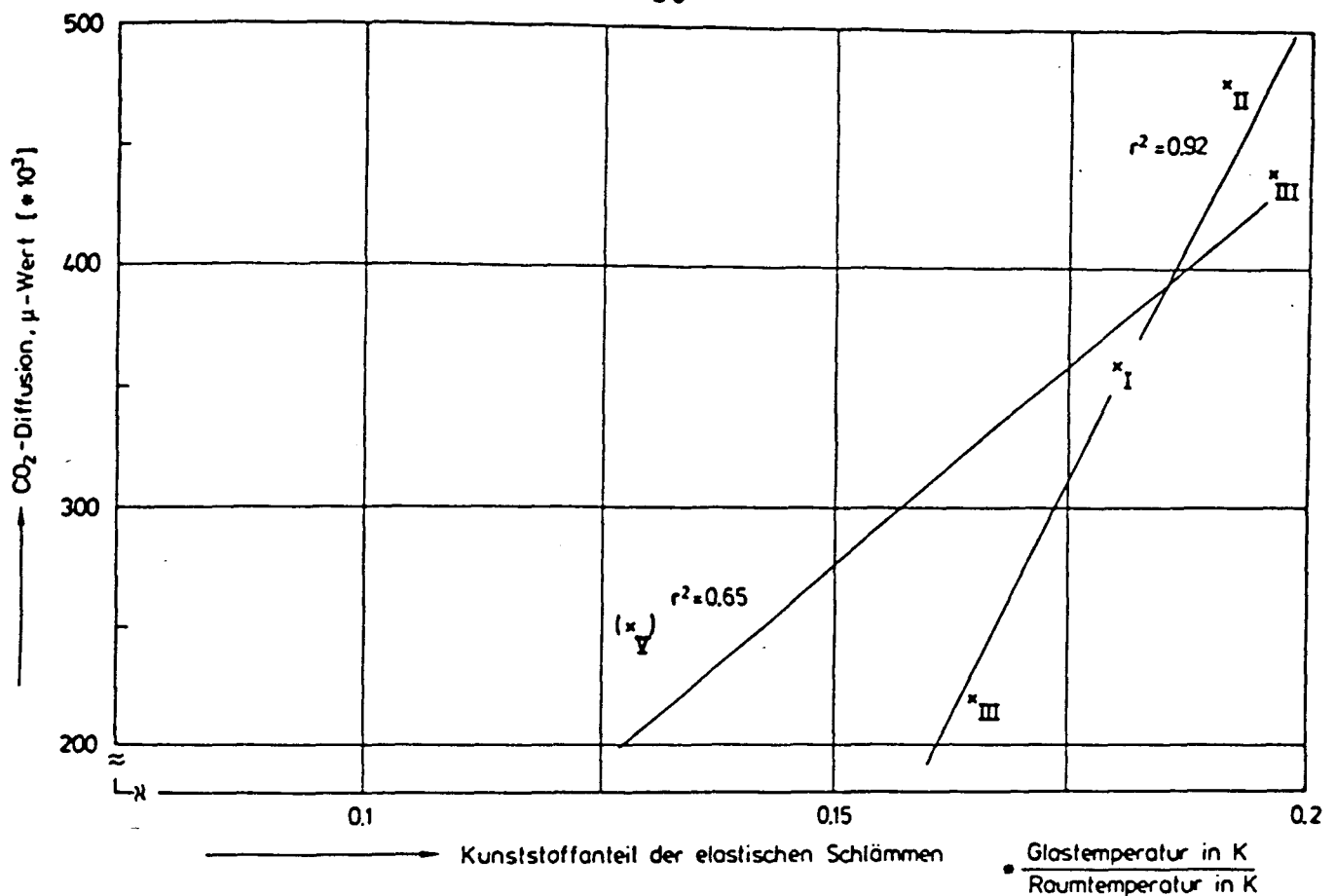


Abb. 4.8 b): Darstellung der CO₂-Diffusionswerte in Abhängigkeit von Kunststoffanteil der Schlämmen und Glastemperatur der Dispersion

Es ist somit ein Zusammenhang zwischen CO₂-Sperrwirkung und Kunststoffanteil der Schlämme und eventuell auch der Glastemperatur der Kunststoffdispersion zu vermuten; ein solcher konnte jedoch nicht eindeutig für alle Materialien gefunden werden.

Das etwas herausfallende Verhalten des Materials V könnte in einer modifizierten Kunststoffdispersion begründet sein. Die Identitätsprüfung mittels DTA hatte auch entsprechende Hinweise ergeben (vgl. Abschnitt 3.1).

4.4 Wasseraufnahme

Die Wasseraufnahme der elastischen Schlämmen wurde durch kapillare Saugversuche wie in Kap. 3.3 beschrieben, bestimmt. Tabelle 4.4 zeigt die Ergebnisse für die untersuchten Materialien.

Tabelle 4.4:**Wasseraufnahmekoeffizienten der elastischen Schlämmen**

Material	Wasseraufnahmekoeffizient [$10^{-3}\text{kg/m}^2\sqrt{\text{h}}$]	W_{24}
I	22	
II	./.	
III	./.	
IV	41	
V	20	

Für eine ausreichende Frostsicherheit und Dichtigkeit gegen nicht-drückendes Wasser, werden von Baustoffen in der Regel Wasseraufnahmekoeffizienten von $< 500 \text{ [g/m}^2\sqrt{\text{h}}]$ gefordert. Dieser Wert wird von den untersuchten Schlämmen sehr deutlich unterschritten. Zieht man die Werte üblicher Schutzanstriche zum Vergleich heran ($10 - 100 \text{ [g/m}^2\sqrt{\text{h}}]$), so erweisen sich die elastischen Schlämmen als mindestens gleichwertig.

4.5 Zugfestigkeit, Reißdehnung

Wie in Kap. 3.4 beschrieben wurden die Zugfestigkeiten und die Reißdehnungen der elastischen Schlämmen für unterschiedlichen Temperaturen aus Zugspannungs-Dehnungsversuchen ermittelt. In Tabelle 4.5 - 1 sind die Mittelwerte der Ergebnisse von jeweils 20 Einzelversuchen angegeben.

Tabelle 4.5 - 1:

Zugfestigkeiten und Reißdehnungen der untersuchten elastischen Schlämmen bei -20 °C und +23 °C

Material	Zugfestigkeit [N/mm ²]		Reißdehnung [%]	
	23 °C	-20 °C	23 °C	-20 °C
I	0,29	1,8	38	47
II	2,03	5,9	21	12
III	0,27	1,23	32	42
IV	2,2	7,0	20	12
V	1,3	13	9,4	1,8

Bei den Materialien I und V wurde der untersuchte Temperaturbereich auf -40 °C bis +70 °C bzw. +80 °C ausgedehnt. Tabelle 4.5 - 2 zeigt die Ergebnisse. Die Temperaturabhängigkeit der Zugfestigkeit bzw. der Reißdehnung ist darüberhinaus in den Abb. 4.9 und 4.10 für diese beiden Materialien graphisch dargestellt.

Tabelle 4.5 - 2:

Zugfestigkeiten und Reißdehnungen der elastischen Schlämmen I und V bei Temperaturen zwischen -40 °C und +80 °C

Temperatur	Material I		Material V	
[C°]	Zugfestigkeit [N/mm²]	Reißdehnung [%]	Zugfestigkeit [N/mm²]	Reißdehnung [%]
-40	3,60	14	9,5	1,1
-30	2,00	36	./.	./.
-20	1,38	60	8,9	1,6
- 5	0,78	97	./.	./.
0	0,55	103	2,1	11
+10	0,35	102	./.	./.
+23	0,19	75	0,9	26
+40	0,17	55	0,8	15
+70	0,16	41	./.	./.
+80	./.	./.	0,5	8

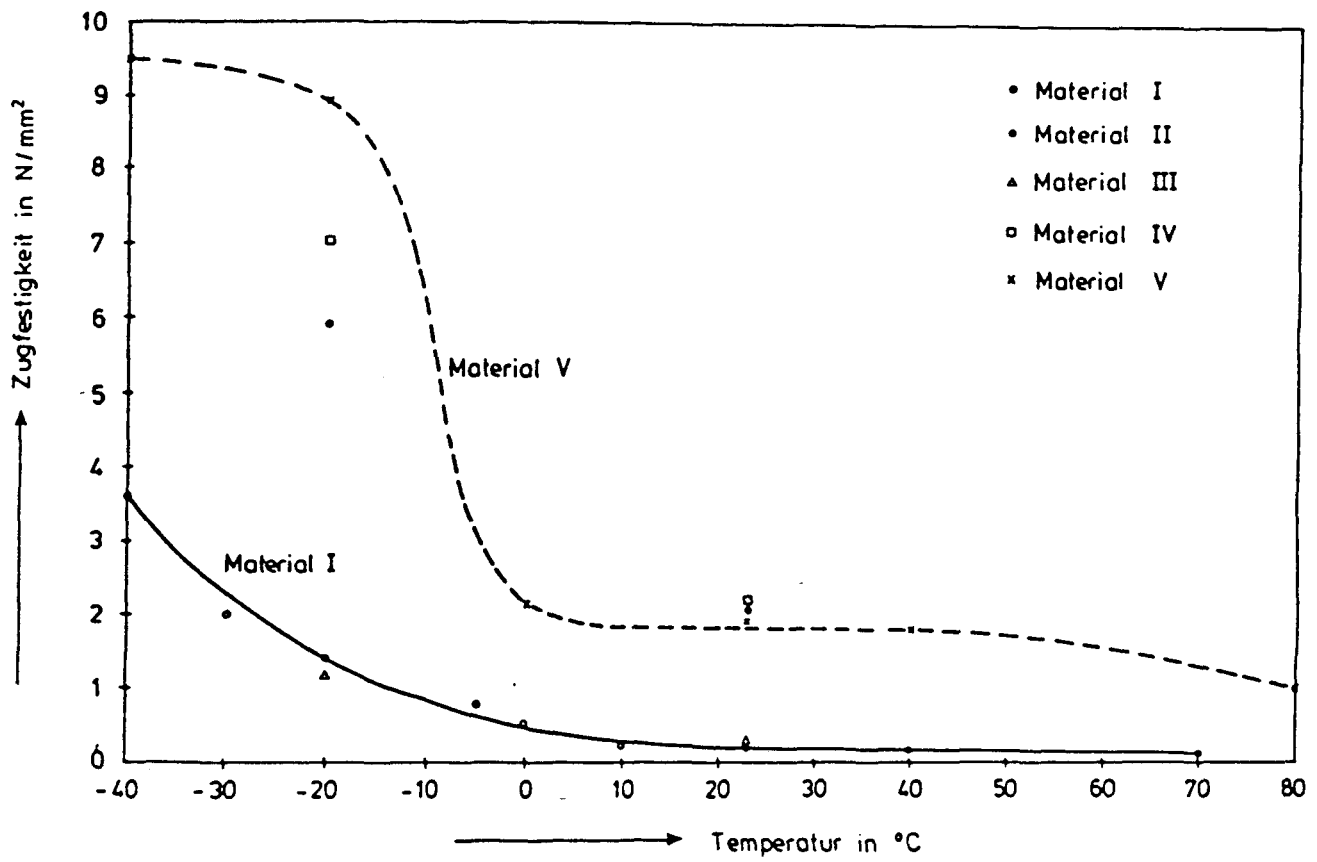


Abb. 4.9: Zugfestigkeit der Materialien I und V in Abhängigkeit von der Temperatur

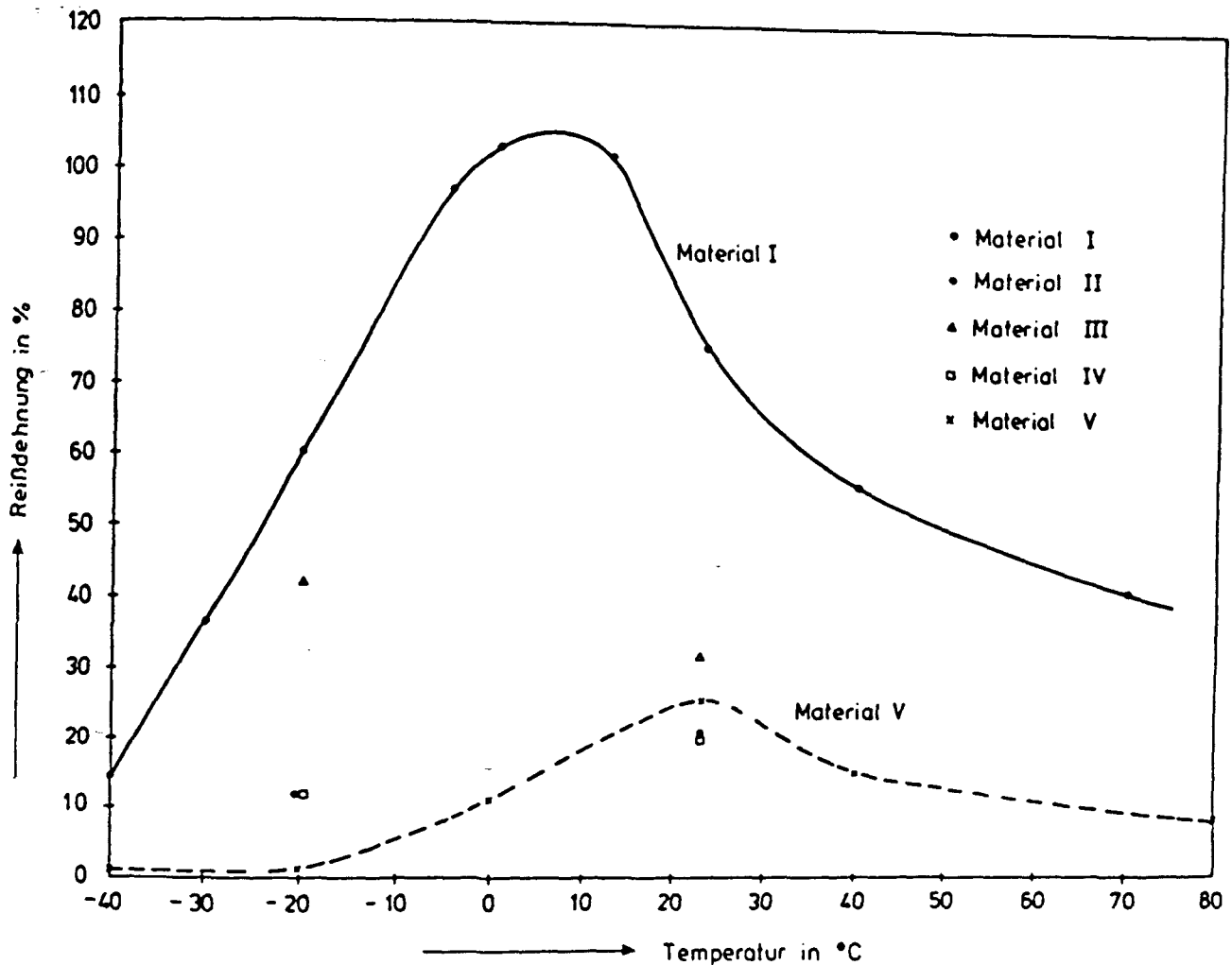


Abb. 4.10: Reißdehnung der Materialien I und V in Abhängigkeit von der Temperatur

Für die Messungen wurden mehrere Filme von ca. 20 x 30 cm' Größe hergestellt, aus denen jeweils bis zu zehn Schulterproben für den Zugspannungs-Dehnungsversuch ausgestanzt werden konnten. Es war auffällig, daß die Streuungen der Ergebnisse für Proben aus ein und demselben Film sehr gering ausfielen (< 5 %), während die für die einzelnen Filme gemittelten Werte sich bis zu 100 % unterschieden. Da für die Untersuchungen, deren Ergebnisse in Tabelle 4.5 - 1 und in Tabelle 4.5 - 2 aufgeführt sind, unterschiedliche Filme verwendet wurden, erklären sich daraus auch die streuenden Ergebnisse für die Materialien I und V bei -20 °C und +23 °C.

Für die elastischen Schlämmen muß aus diesen Beobachtungen eine starke Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften von Herstellungsparametern abgeleitet werden.

Die Ergebnisse zeigen im übrigen, daß alle fünf untersuchten Schlämmen ausreichende (Material I und III) bzw. gute (Material II, IV und V) Zugfestigkeiten im untersuchten Temperaturintervall besitzen. Die Verformungsfähigkeit ist mit Reißdehnungen im Prozentbereich bei vier Materialien ebenfalls gut, so daß sich ausreichende rißüberbrückende Eigenschaften erwarten lassen.

Eine Ausnahme macht hier das Material V, dessen Verformungsfähigkeit bei tiefen Temperaturen zu stark abnimmt. Hier könnte wieder die modifizierte Kunststoffdispersion des Materials als Ursache vermutet werden. Die bei den DTA/TG-Untersuchungen festgestellte, weitgehende Identität der Materialien II und IV ist in den mechanischen Eigenschaften ebenfalls erkennbar. Die Werte für Zugfestigkeit und Reißdehnung sind für diese Materialien bei beiden untersuchten Temperaturen im Rahmen der durch Herstellungsparmeter möglichen Streuungen als gleich einzustufen. Ähnliche Werte treten im übrigen auch bei den Materialien I und III auf.

Die Temperaturabhängigkeit der Zugfestigkeit (vgl. Abb. 4.9) ist bei den Materialien II, IV und V derart ausgeprägt, daß bei ca. $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ein Steilabfall der bei tiefen Temperaturen relativ hohen Zugfestigkeit auftritt. Bei den Materialien I und III ist die Zugfestigkeit bei tiefen Temperaturen deutlich kleiner.

Der Steilabfall in der Festigkeit bei den Materialien II, IV und V fällt in den Bereich der Glastemperaturen ihrer Dispersionen ($-16\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-27\text{ }^{\circ}\text{C}$) (vgl. Kap. 4.7) und wird vermutlich durch das Erweichen des Kunststoffanteils verursacht. Die ermittelten Reißdehnungen (vgl. Abb. 4.10) zeigen bei dem Material I und vermutlich auch bei Material III hohe Werte im Bereich 0 bis $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ und fallen sowohl zu niedrigeren als zu höheren Temperaturen hin deutlich ab. Auch bei dem Material V (und vermutlich auch bei Material II und IV) ist ein Maximum in der Temperaturabhängigkeit der Reißdehnung erkennbar. Es ist jedoch deutlich flacher als beim Material I und liegt bei etwas höheren Temperaturen (ca. $+20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Die beste Verformungsfähigkeit der Materialien fällt somit in den Bereich der Gebrauchstemperaturen.

4.6 Haftzugfestigkeit

Die Haftzugfestigkeiten wurden, wie in Abschnitt 3.5 beschrieben, an Proben, die im Normalklima gelagert waren, sowie an Proben, die Feuchte- und Temperaturwechseln ausgesetzt gewesen waren, ermittelt. Tabelle 4.6 gibt die entsprechenden Haftzugfestigkeiten an.

Tabelle 4.6:

Haftzugfestigkeiten der elastischen Schlämmen nach Normallagerung, Feuchte- und Temperaturwechsel.

Material	Haftzugfestigkeit in N/mm ²			Bemerkungen
	Nullproben	Temp.-Wechsel	Feuchtewechsel	
I	0,6	0,7	0,7	Riß in der Beschichtung
II	-	-	-	-
III	-	-	-	-
IV	2,6	2,7	2,7	Riß im Beton oder in der Beschichtung
V	1,6	1,8	1,8	Riß in der Beschichtung

Bei allen untersuchten Materialien wurden sehr gute (IV und V) oder zumindest befriedigende (I) Haftzugfestigkeiten festgestellt. Temperatur- und Feuchtewechsel verminderten die Haftung der Materialien auf dem Untergrund nicht. Die Trennbrüche erfolgten in der überwiegenden Anzahl der Fälle in den Beschichtungen, teilweise sogar im Beton.

4.7 Glastemperatur

Mittels DSC-Analyse (vgl. Kap. 3.6) wurden die Glastemperaturen der einzelnen Dispersionskomponenten bestimmt. Die Ausschnitte aus den DSC-Meßkurven, die zur Auswertung der Glastemperatur herangezogen wurden, sind in den Abbildungen 4.11 bis 4.15 dargestellt. Tabelle 4.7 gibt die für die verschiedenen Dispersionen ermittelten Glastemperaturen an.

Tabelle 4.7:

Glastemperaturen der Dispersionen der elastischen Schlämmen

Material	Glasübergang [$^{\circ}\text{C}$]
I	- 13,5
II	- 21
III	- 11
IV	- 27
V	- 16,5

Bei den Materialien I und III liegt die Glastemperatur tendenziell etwas höher als bei den Materialien II, IV und V. Dieser Sachverhalt korreliert zwar mit dem unterschiedlichen Temperaturverhalten der Zugfestigkeit der Materialien, ein physikalischer Zusammenhang ist jedoch nicht eindeutig erkennbar.

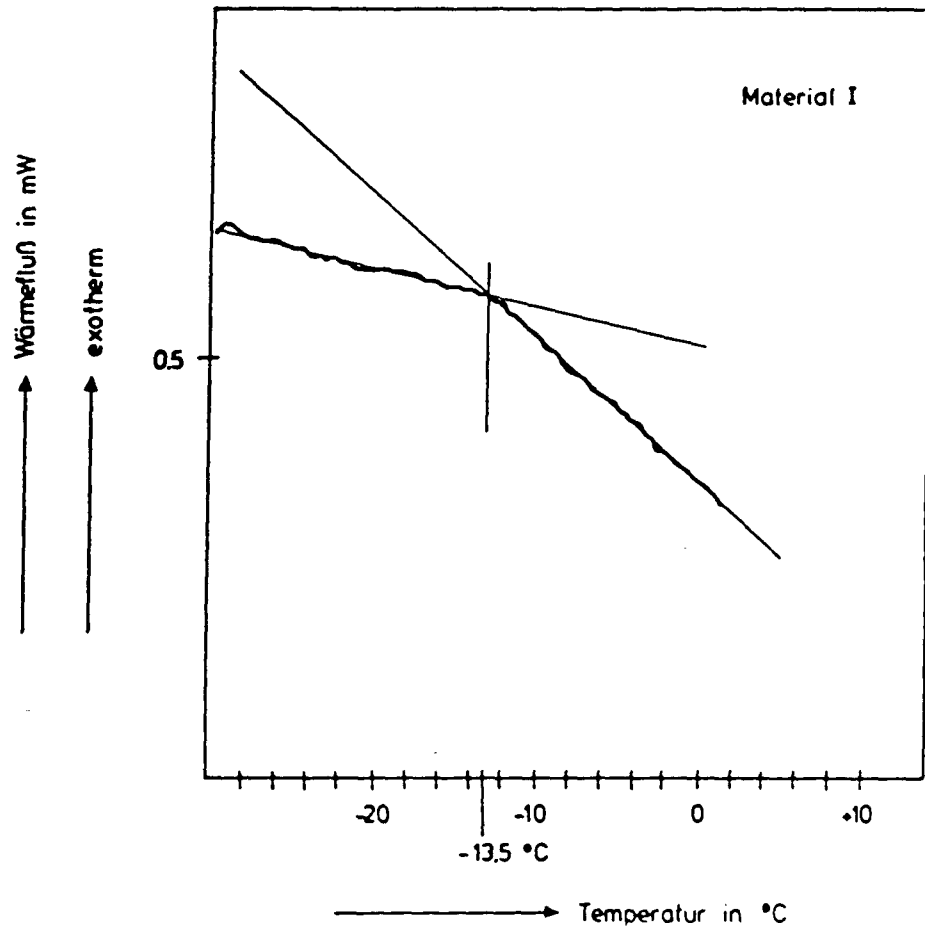


Abb. 4.11: Ausschnitt aus der DSC-Meßkurve des Materials I

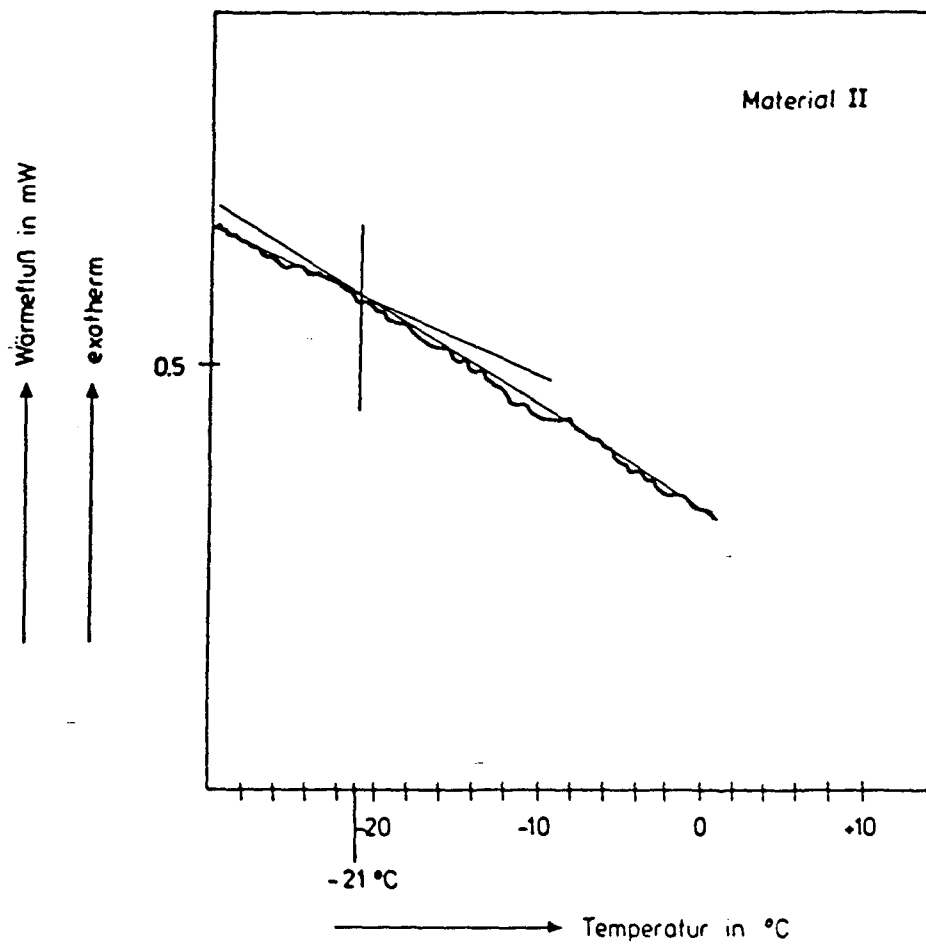


Abb. 4.12: Ausschnitt aus der DSC-Meßkurve des Materials II

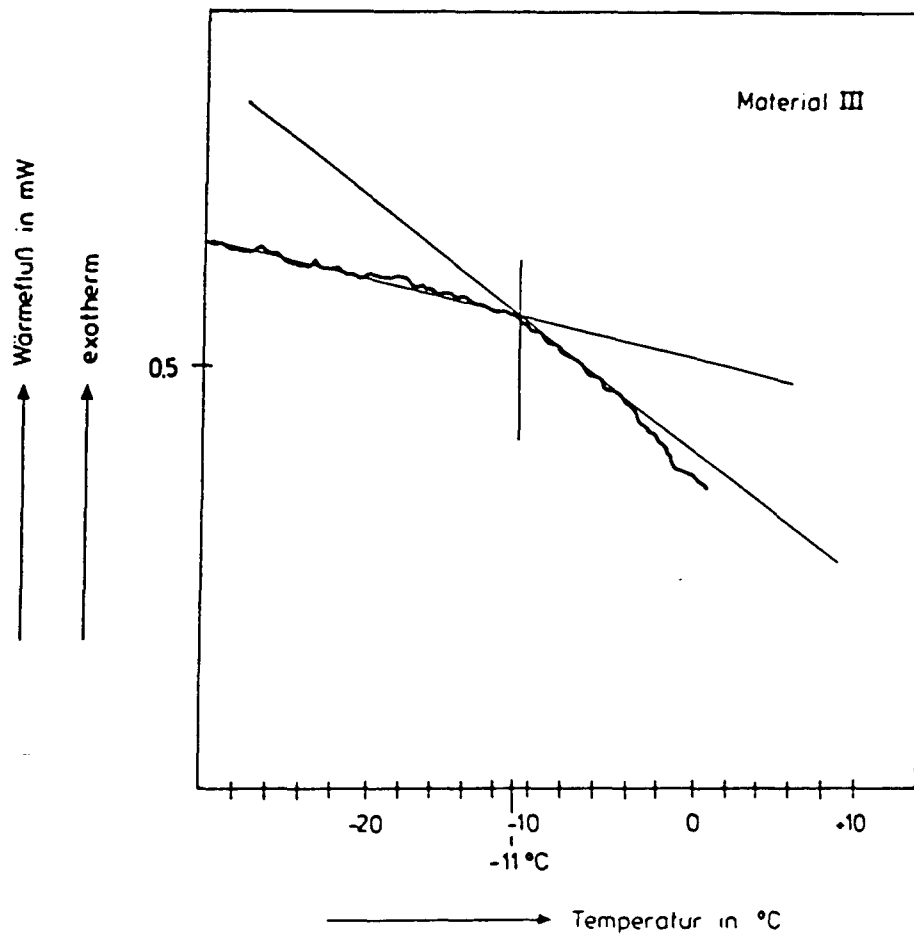


Abb. 4.13: Ausschnitt aus der DSC-Meßkurve des Materials III

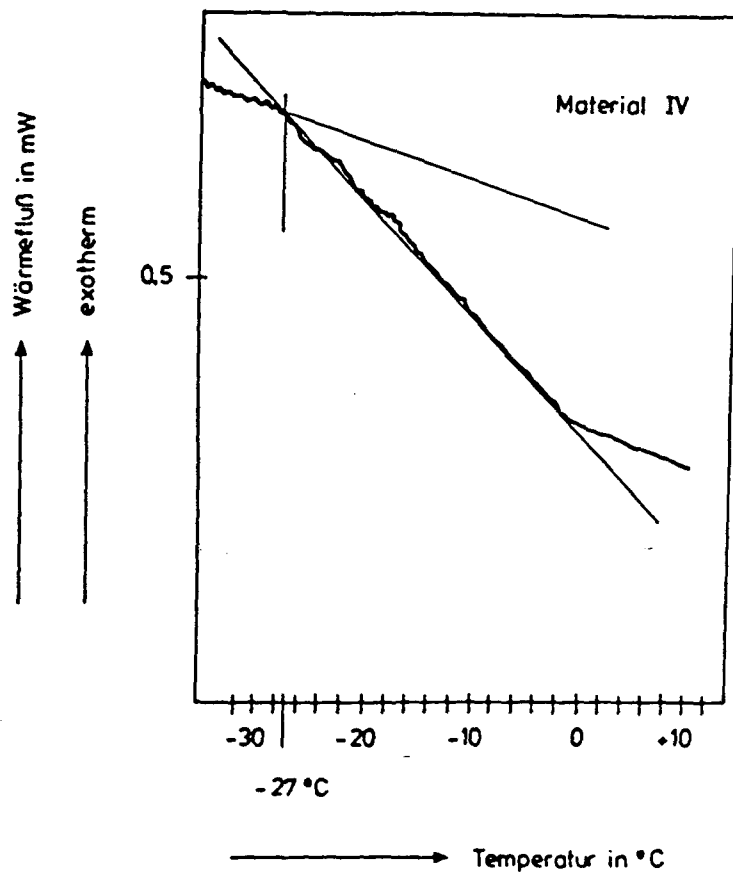


Abb. 4.14: Ausschnitt aus der DSC-Meßkurve des Materials IV

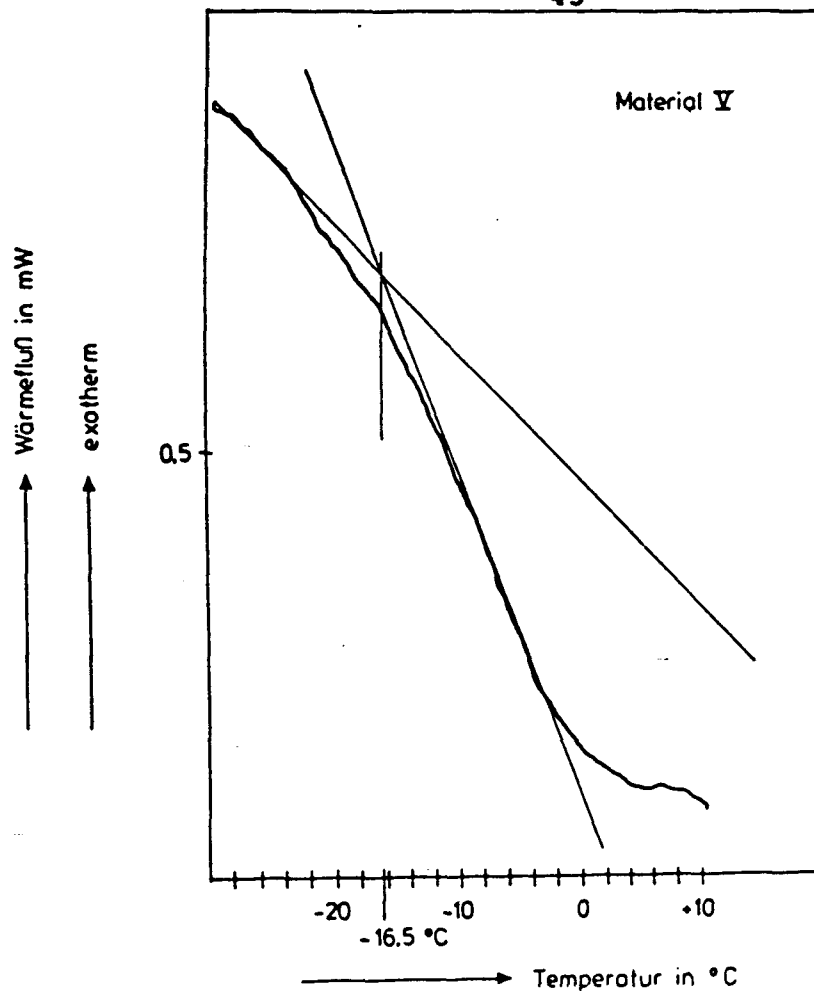


Abb. 4.15: Ausschnitt aus der DSC-Meßkurve des Materials V

5. Folgerungen

Bei Identitätsprüfungen an den Ausgangskomponenten der untersuchten elastischen Schlämmen zeigten sich Ähnlichkeiten in der Grundsubstanz, teilweise sogar Identitäten.

Bei der Flüssigkomponente ist zu vermuten, daß mindestens zwei verschiedene Kunststoffdispersionen verwendet wurden. Unterschiede zwischen den einzelnen Materialien bestehen aber auch darin, daß Kunststoff- und Wasseranteile variieren.

Bei den untersuchten Parametern schlugen sich die physikalisch oder chemisch variierenden Zusammensetzungen der Schlämmen mit unterschiedlicher Konsequenz nieder.

Die Wasserdampfdiffusionswerte unterscheiden sich zwar, sie sind jedoch so günstig, daß alle Materialien uneingeschränkt als "wasserdampfdurchlässig" eingestuft werden können. Die Sperrwirkung aller Materialien gegen CO_2 -Diffusion ist - bei individuellen Unterschieden - insgesamt sehr hoch.

Der Wasseraufnahmekoeffizient liegt bei allen Materialien so niedrig, daß ausreichende Frostsicherheit und Dichtigkeit gegen nicht-drückendes Wasser immer gewährleistet ist.

Bei den mechanischen und elastischen Kennwerten und deren Temperaturabhängigkeit liegen deutliche Unterschiede zwischen den Materialien vor. So unterscheiden sich die Zugfestigkeiten bei Raumtemperatur teilweise um eine Zehnerpotenz (beispielsweise Material II im Vergleich zu Material III), und einige Materialien zeigen sehr steile Anstiege in der Zugfestigkeit zu tiefen Temperaturen hin.

Die Reißdehnungen unterscheiden sich nicht so stark wie die Zugfestigkeiten. Sie liegen bei Raumtemperatur alle im Bereich von 10 - 40 %. In ihrer Temperaturabhängigkeit besitzen sie ein Maximum im Bereich der Gebrauchstemperaturen.

Für eine sichere Beurteilung der elastischen Schlämmen hinsichtlich ihrer Fähigkeit dauerhaft rißüberbrückend zu wirken, wären direkte Messungen an sich öffnenden und schließenden Rissen erforderlich. Derartige Messungen stoßen heute aber noch auf meßtechnische Schwierigkeiten.

Die hier ermittelten Parameter Zugfestigkeit und Reißdehnung erlauben jedoch schon eine weitgehende Aussage über die Verwendungsfähigkeit der Materialien. Es fehlen zwar noch letzte Erfahrungen darüber, welche Verformungen und Zugfestigkeiten mindestens zu fordern sind; die an den hier untersuchten Schlämmen ermittelten Werte lassen jedoch bei fast allen Materialien über den gesamten Bereich der Gebrauchstemperaturen ausreichende rißüberbrückende Eigenschaften erwarten. Aus der an zwei Materialien exemplarisch

in engen Stufen ermittelten Temperaturabhängigkeit der oben genannten Parameter läßt sich daneben ableiten, daß es i. w. genügt, diese Werte bei zwei Temperaturen, Raumtemperatur und $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$, zu bestimmen.

Die Haftung auf Beton war bei allen untersuchten Schlämmen besser als ihre Zugfestigkeit bzw. die des Betons. Auch nach Feuchte- und Temperaturwechselbeanspruchungen ergaben sich darin keine Veränderungen, so daß alle Materialien hierin uneingeschränkte Eignung zuzuschreiben ist.

Von den Dispersionskomponenten der Schlämmen wurden die Glastemperaturen bestimmt, die alle deutlich unterhalb des Gefrierpunkts liegen. Eine Abhängigkeit des Temperaturverhaltens der Zugfestigkeit von der Glastemperatur der Dispersion könnte bestehen. Demnach würde eine Dispersion mit einer Glastemperatur im Bereich von $-11\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $-14\text{ }^{\circ}\text{C}$ eine frühere Versprödung des Materials bewirken als solche mit Glastemperatur um $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Ob die Glastemperatur aber allein zur Charakterisierung der elastischen Eigenschaften geeignet ist, bleibt fraglich. Hier wären weitergehende Untersuchungen notwendig.

Insgesamt zeigten die fünf untersuchten elastischen Dichtungsschlämmen bei allen Messungen gute bis sehr gut Ergebnisse und sind daher als eine echte Alternative zu den bisher in der Betoninstandsetzung am häufigsten angewendeten Systemen aus Feinspachtel und Schutzanstrich anzusehen.

6. Zusammenfassung und Ausblick

Im vorliegenden Forschungsvorhaben wurden elastische Dichtungsschlämmen auf ihre Eignung für die Betoninstandsetzung hin untersucht. Ausgehend von bewährten Materialprüfprogrammen mit denen Systeme aus Feinspachtel und Schutzanstriche schon seit Jahren getestet werden, wurden an elastischen Dichtungsschlämmen die Parameter Wasserdampfdurchlässigkeit, CO_2 -Durchlässigkeit, Wasser-

aufnahme, Zugfestigkeit, Reißdehnung und Haftzugfestigkeit auf Beton bestimmt. Zusätzlich wurden an den Ausgangskomponenten der Schlämmen Identitätsprüfungen durchgeführt und die Glasstemperatur ihrer Kunststoffdispersionskomponente ermittelt.

Die Ergebnisse der Parameterstudie zeigen, daß elastische Dichtungsschlämmen eine sehr gute Eignung für die Betoninstandsetzung aufweisen und als eine echte Alternative zu Systemen aus Feinspachtel und Schutzanstrich anzusehen sind.

Bei der Identitätsprüfung der Ausgangskomponenten der Schlämmen mittels DTA/TG wurde bei zwei Materialien Identität der Trockensubstanz festgestellt. Jedoch ergaben sich hier wie bei allen untersuchten Materialien Unterschiede im Kunststoffanteil der Dispersion.

Auch die Glasstemperatur der Dispersion war bei allen untersuchten Schlämmen unterschiedlich. Es steht zu vermuten, daß sich unterscheidende Eigenschaften der Schlämme, wie CO_2 -Durchlässigkeit und Temperaturabhängigkeit der Zugfestigkeit und der Reißdehnung, mit dem Kunststoffanteil der Schlämme und der Glasstemperatur der jeweiligen Kunststoffdispersion verknüpft sind; ein eindeutiger physikalischer Zusammenhang für alle Materialien konnte jedoch nicht ermittelt werden.

Die elastischen Schlämmen passen als "Zwitter" zwischen den rein mineralischen Baustoffen und Kunststoffschutzanstrichen nicht in die herkömmlichen, bekannten Schemata. So ist von den Schlämmen, wenn man sie als überwiegend mineralisches Material ansieht, eine Schutzwirkung gegen CO_2 praktisch nicht zu erwarten.

Bisher liegt i. w. nur eine Parameterermittlung für die elastischen Schlämmen vor. Notwendig wäre eine weitere Grundlagenforschung mit der Zielrichtung, die Eigenschaften der Schlämmen durch das Zusammenwirken der mineralischen und der Kunststoffkomponente erklären zu können.

Heutige Deutungsversuche gehen in die Richtung, die elastischen Schlämmen aufgrund ihrer Elastizität als überwiegend polymer- und nicht zementgebunden anzusehen. Daraus resultiert zwar unmittelbar die Frage nach der Notwendigkeit der Zementkomponente, aber bei vollständigem Ersatz des Zements durch inaktive Zusätze treten ganz andere Eigenschaften auf. Es wird daher bei der Erhärtung der elastischen Schlämmen ein Effekt vermutet, der als "innere Austrocknung" charakterisiert werden kann, bei dem das in der Dispersion vorliegende Wasser vom Zement verbraucht wird und die für die Schlämmen typischen Eigenschaften entstehen [6]. Eine weitgehende Klärung dieses Wirkungsmechanismus wäre wünschenswert, damit die von den Eigenschaften her äußerst interessanten elastischen Schlämmen durch gezielte Veränderung der Komponenten optimiert werden können.

7. Literatur

- [1] Engelfried, R.: Karbonatisierung von Beton, ihre Bedeutung und ihre Beeinflussung durch Beschichtungen. Defazet, 31. Jahrgang, Nr. 9/1979, S. 353 - 359.
- [2] Lukas, W.; Kusterle, W. (Herausgeber): Instandsetzung und Erhaltung von Bauten aus Beton und Stahlbeton. Berichtsband der internationalen Fachtagung vom 14. und 15. Januar 1988 in Innsbruck, Institut für Baustofflehre und Materialprüfung.
- [3] Neisecke, J.: Erfahrungen bei der Reparatur und dem Schutz von Betonoberflächen. Berichtsband des internationalen Kolloquiums über Werkstoffwissenschaften und Bausanierung am 6. - 8. September 1983 in Esslingen, S. 243 - 247.
- [4] Grundsätze für die Prüfung flexibler mineralischer Dichtungsschlämmen (Fassung September 1983). Institut für Bautechnik, Reichpietschufer, Berlin.
- [5] Merkblatt über den Einsatz von zementgebundenen, mineralischen Dichtungsschlämmen bei der Ausführung von Bauabdichtungsarbeiten. Bautenschutz und Bausanierung, 11. Jahrgang, Heft 3, September 1986.
- [6] Nägele, E.: Neue Dichtstoffe auf der Basis zementverfüllter Polymerdispersionen. Bautenschutz und Bausanierung, 11. Jahrgang, Heft 3, Juni 1988.